



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA VÍČKA

PRODUCTION OF CAP

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Zdenko Braško**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**

**BRNO 2018**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Zdenko Braško**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Výroba víčka

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby víčka z ocelového plechu, které slouží jako uzavírací kus pro trubku válcového regálu. Z vnitřní strany je do něj nalisované ložisko a středem prochází hřídel se závitem. Součástka je válcového tvaru a bude vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

### Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost víčka,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj včetně základní výkresové dokumentace,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.

FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.

SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. Speciální technologie tváření. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010-2011, 2 sv. (134, 155 s.). ISBN 978-80-214- 4406-52.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

MARCINIAK, Zdislaw, John L. DUNCAN a Jack S. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

**BRAŠKO Zdenko:** Výroba víčka.

Práce řeší návrh výroby víčka, které slouží na uzavření trubky valcového regálu, ku které je privarené a spolu tvoří pevnou sestavu. Z vnitřní strany je do něho nalisované ložisko a středem prochází oska. Celá sestava zabezpečuje hlavní funkci otáčení trubky okolo vlastní osy. Víčko bude vyrobené z hlubokotáhací oceli DC04 s tloušťkou polotovaru 2 mm. Z rozvahy možných variant výroby víčka byla zvolena jako nejvhodnější technologie hluboké ťahání bez stěhování stěny. Z posouzení technologičnosti byl upraven tvar součástky. Na jeho výrobu byl navržen nástroj, v kterém probíhají tři operace. V prvních dvou se vytvoří středový kalíšek a v poslední se dotvoří konečný tvar víčka. Pro daný nástroj byla zhotovená výkresová dokumentace. Na základě výpočtů potřebné síly a práce byl zvolený výstředníkový lis S 160 E od firmy ŠMERAL. Při velikosti série 25 000 ks jsou náklady na výrobu jednoho kusu 51,65 Kč/ks.

**Klíčové slova:** víčko, ocel DC04, hluboké ťahání, nástroj, lis S 160 E.

## **ABSTRACT**

**BRAŠKO Zdenko:** Production of cap.

The aim of this thesis is to propose and design the production of the cap. The cap is welded to the tube of roller regal and is used for closing the tube. They together make a fixed assembly. There is a bearing molded from inside the cap and shaft passes through the center of the cap. The main function of whole assembly is to rotate the tube around its own axis. The cap will be made from deep - drawing steel DC04 with a thickness of 2 mm. After consideration various possible variants for the cap production, there was chosen deep drawing without reduction of thickness as the most profitable technology. The shape of the component was modified from the technology review. There is proposed a tool that will be used for production the caps. The caps will be produced within three operations: the first two operations form a central cup and the third operation makes the final shape of the cap. Drawings for the tool are created and delivered as part of this thesis. Based on the necessary force and work calculation, it was chosen eccentric press machine S 160 E from the ŠMERAL company. With the 25 000 series, the costs of production one piece are 51,65 CZK.

**Keywords:** cap, steel DC04, deep drawing, tool, press S 160 E.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

BRAŠKO, Zdenko. *Výroba víčka*. Brno, 2018. 61 s., 6 výkresov, 8 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedúci bakalárskej práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

## **ČESTNÉ PREHLÁSENIE**

Týmto prehlasujem, že predloženú diplomovú prácu som vypracoval samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácií a pod vedením vedúceho diplomovej práce.

V Brne dňa 25.5.2018

.....

Podpis

## **POĎAKOVANIE**

Týmto ďakujem pánu Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D. za cenné pripomienky a rady týkajúce sa spracovania diplomovej práce. Poďakovanie patrí aj firme BRUKOS s.r.o. za mnoho cenných rád, informácií a za spoluprácu na tejto práci, mojej rodine a priateľke za psychickú a finančnú podporu v priebehu celého štúdia.

## **OBSAH**

Zadanie

Abstrakt

Bibliografická citácia

Čestné prehlásenie

PodĎakovanie

Obsah

**ÚVOD** .....9

**1 ROZBOR RIEŠENEJ SÚČIASTKY** .....10

1.1 Variantné riešenie výroby .....11

**2 TECHNOLOGIA ŤAHANIA**.....15

2.1 Veľkosť prístrihu .....20

2.2 Parametre.....22

2.3 Sila a práca .....26

2.4 Nástroje .....28

2.4.1 Ťažník .....30

2.4.2 Ťažnica .....31

2.4.3 Pridržiavač .....33

2.5 Stroje .....34

2.6 Mazanie .....36

2.7 Technologičnosť .....37

**3 NÁVRH VÝROBY**.....38

3.1 Veľkosť prístrihu, počet operácií.....39

3.2 Varianty výroby prístrihu .....43

3.3 Pridržiavač.....47

3.4 Ťažná medzera.....49

3.5 Sila a práca .....49

3.5.1 Ťažisko .....51

3.6 Návrh nástroja .....52

3.7 Voľba stroja.....56

3.8 Návrh maziva.....56

**4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE**.....57

**5 ZÁVERY** .....61

Zoznam použitých zdrojov

Zoznam použitých symbolov a skratiek

Zoznam obrázkov

Zoznam tabuliek

Zoznam príloh

Zoznam výkresov



**ÚVOD** [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]

K spracovaniu kovov a dosiahnutiu konečného tvaru súčiastky sa využíva mnoho technológií. Medzi základné patrí tvárnenie, obrábanie, odlievanie a zváranie. Veľmi často sa v praxi využíva ich kombinácia z dôvodu zložitosti súčiastok, s tým, že medzi najčastejšie zastúpené patria obrábanie a tvárnenie.

Princíp tvárnenia spočíva v presúvaní materiálu pomocou pôsobiacich síl, preto pri procese výroby väčšinou vzniká pomerne malé množstvo odpadu v jednotkách percent. S tým priamo úmerne súvisí vysoké percento využitia materiálu. Ďalšími výhodami sú beztriesková výroba a jej vysoká rýchlosť, tým pádom aj vysoká produktivita. Medzi najväčšie nevýhody patria vysoké počiatočné náklady na stroje a nástroje. Keďže je v súčasnosti v strojníctve trend zvyšovania produkcie pri čo najnižších prevádzkových nákladoch, tak sa čoraz viac využívajú tvárniace technológie. Používajú sa napr. v automobilovom, leteckom alebo vojenskom priemysle.

Technológiu tvárnenia je možno deliť podľa výroby na objemové (pechovanie, pretlačovanie, atď.) a plošné (strihanie, ohýbanie, ťahanie, lemovanie atď.), kde pri plošnom dochádza pôsobením vonkajších síl k tvarovaniu polotovaru iba v dvoch smeroch, čo znamená, že hrúbka zostáva konštantná. Jednou zo základných technológií je hlboké ťahanie, ktorého príklady výrobkov sú na obrázku 1.



Obr. 1 Príklady súčiastok vyrobených hlbokým ťahaním [6], [7], [8], [9].

## 1 ROZBOR RIEŠENEJ SÚČIASTKY [2], [3], [10], [11]

Práca sa zaoberá technologickým postupom produkcie víčka, ktoré vyrába firma Brukos s.r.o. a je zobrazené na obrázku 2.

Firma Brukos je malá rodinná firma založená v roku 1992. Nachádza sa na Slovensku, v meste Vrbové. Predmetom činnosti je kovovýroba a následná montáž hotových výrobkov. Vo firme sa využívajú technológie zvarovania, obrábania a tvárnenia, preto je schopná zhotoviť veľké množstvo rozličných produktov ako napr. brány, zábradlia, schody, rôzne konštrukcie, prístrešky atď. Okrem samotnej výroby sa vo firme vykonávajú aj niektoré povrchové úpravy ako je pieskovanie, zinkovanie žiarový nástrek a striekanie farieb. Zväčša sa jedná o kusovú alebo malosériovú výrobu.



Obr. 2 Vnútorá strana víčka.



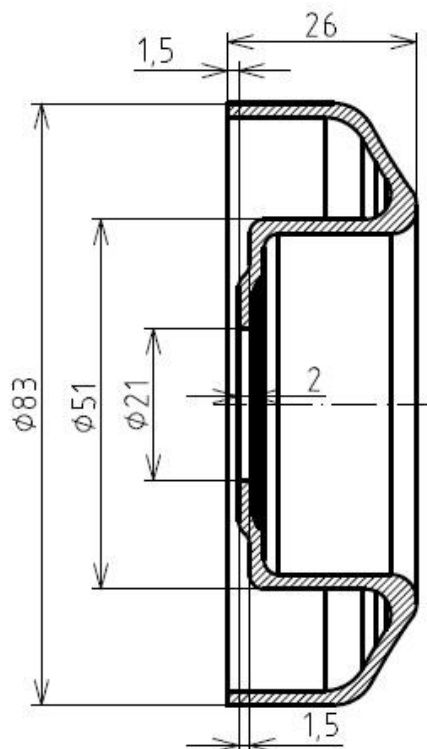
Obr. 3 Umiestnenie víčka v zostave regálu.

V súčasnosti je výnimkou víčko, ktoré sa vyrába veľkosériovo a jeho funkciou je uzavretie trubky valcovej časti regálu, čo je zobrazené na obrázku 3d. Z jeho vnútornej strany, viď obrázok 2, je nalisované ložisko, ktorého stredom prechádza oska (aj stredom víčka) s vytvorenými závitmi na jej koncoch. Naopak predná časť víčka, konkrétne jeho koniec na vonkajšom priemere, je pomocou zvaru pripevnený k okraju valcovej trubky (obrázok 3d), čo spôsobí, že tieto dve časti spolu s ložiskom tvoria pevnú pohyblivú sústavu. Oska je pripevnená k vinklovej konštrukcii pomocou skrutiek (obrázok 3c), ktorá je skrutkami pripevnená ku

konstrukcií regálu, vid' obrázok 3a. Oba pevné spoje spôsobia, že konštrukcia regálu, vinklová konštrukcia a oska tvoria pevnú nepohyblivú sústavu. Spojením týchto dvoch sústav bude vytvorený funkčný regál (obrázok 3a), kde pohyblivá sústava môže konať otáčavý pohyb okolo osky vďaka ložisku zalisovanom vo víčku. Preto, keď sa napr. tyčový polotovár pohybuje po valcovej trubke, tak tá má tendenciu sa otáčať, a tým zjednodušovať buď vkladanie, alebo vyberanie materiálu z regálu.

Veľkosť výrobnéj série je stanovená na 25 000 ks. Víčko má hrúbku steny 2 mm a jeho najväčšie rozmery sú  $\varnothing 83 \times 26$ , ktoré sú zobrazené na obrázku 4. Z konštrukčného hľadiska nie je nutné predpisovať špeciálne tolerancie, všetky rozmery budú podliehať všeobecnej norme ISO 2768 – mK.

Hlavnými kritériami pri výbere materiálu budú vhodnosť pre výrobnú technológiu a obstarávajúca cena. V tomto prípade mechanické vlastnosti materiálu nie sú príliš podstatné, pretože súčiastka bude len minimálne namáhaná, ale vzhľadom ku komplikovanému tvaru bude proces výroby náročný, tým pádom je nutné uvažovať o materiáloch, ktorý bude spĺňať podmienky veľkej tvariteľnosti bez toho, aby sa muselo riešiť jeho starnutie. Preto bude použitý ukladnený stav materiálu, ktorý je v porovnaní s neukladneným síce drahší, ale nie je potrebné sa zaoberať dlhšími časovými pauzami, ktoré môžu vzniknúť medzi jednotlivými operáciami, kedy by neukladnená oceľ mohla stratiť svoje vlastnosti. Po zohľadnení kritérií bude použitá oceľ DC04 (číselné označenie 1.0338, oceľ 11 305, ČSN 41 1305). Jedná sa o oceľ vhodnú pre hlboké ťahanie, plechy sú vhodné na tvárnenie za studena, vzhľadom na ukladnený stav má zvýšenú odolnosť voči starnutiu a jej mechanické vlastnosti a chemické zloženie je v tabuľkách 1 a 2. Ostatné vlastnosti sú v materiálovom liste v prílohe 1. Medzi najväčšie výhody patrí veľmi dobrá dostupnosť materiálu, jeho cena a jeho vhodnosť pre výrobu riešeného komponentu.



Obr. 4 Víčko – 2D pohľad.

Tab. 1 Chemické zloženie ocele [10].

C [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Al [%]
max 0,07	max 0,40	max 0,025	max 0,025	max 0,03	min 0,025

Tab. 2 Mechanické vlastnosti ocele [10].

Medza pevnosti – R <sub>m</sub> [MPa]	Ťažnosť – A <sub>80</sub> [%]	Medza sklzu – R <sub>p0,2</sub> [MPa]
290 - 360	36	215

### 1.1 Variantné riešenie výroby [2], [3], [5], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]

Riešenú súčiastku je možné vyrobiť rôznymi technológiami, preto je nutné vybrať tú, ktorá bude najvhodnejšia pri zohľadnení nasledujúcich parametrov. Najpodstatnejší je ekonomický parameter, čo znamená, že je snaha o čo najrýchlejšiu výrobu pri nízkych prevádzkových nákladoch. Ďalej je dobré vedieť, akým strojovým parkom disponuje konkrétna firma. V prípade, že by vlastnila potrebné stroje pre výrobu, tak by odpadli počiatočné náklady. Taktiež je nutné prihliadať na veľkosť série s čím súvisí výrobný čas jedného kusu. A v neposlednom rade je treba dodržať požadovanú kvalitu.



Nakoľko bude proces prebiehať bez zmenšovania hrúbky polotovaru, tak sa môžu vylúčiť všetky technológie, pri ktorých sa stenčuje materiál. Ďalej sa nebude uvažovať o výrobe vstupného polotovaru, ale len o zhotovení konečného tvaru súčiastky, ktorý je možné dosiahnuť nasledujúcimi možnosťami:

- ❖ Odlievanie – podstata technológie je v roztavení základného materiálu a jeho následným odliatím do predpripravenej formy (obrázok 5), ktorá je vytvorená vo formovacom ráme a má veľkosť a tvar riešenej súčiastky. Výhodou je možnosť odlitia tvarovo zložitých dielcov. Avšak zhotovenie víčka o hrúbke steny 2 mm by základným gravitačným liatím nebolo možné. Musela by sa teda použiť metóda vysoko tlakého liatia prípadne liatie s vytaviteľným modelom. Tieto spôsoby sú však finančne a časovo náročné (príprava výroby, vytvorenie formy, samotný proces a dokončovacie operácie) a vhodnejšie pre menšie série. Preto sa nehodí na výrobu riešeného dielca.



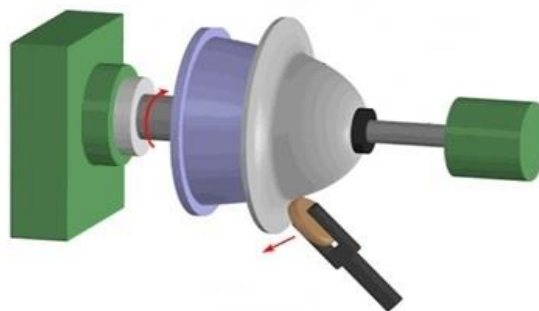
Obr. 5 Odlievanie [16].

- ❖ Obrábanie na sústruhu – princíp metódy spočíva v oddeľovaní triesky zo základného materiálu sústružníckym nožom v mieste rezu. Princíp je znázornený na obrázku 6. Víčko so zadanými parametrami (hrúbka steny 2 mm) je možné zhotoviť touto technológiou. Medzi jej výhody patrí vysoká rozmerová presnosť a kvalita povrchu, preto by bez problému bolo dosiahnutý stupeň presnosti IT12. Pre jeho výrobu by bola ako vstupný polotovar použitá kruhová tyč. Nevýhodou by bolo veľké množstvo odpadu (triesky), ktoré by vzniklo sústružením polotovaru. Ďalším negatívom by boli potrebné pomerne dlhé časy na obrobenie jedného kusu. Tým pádom by čas, potrebný na zhotovenie celej série 25 000 ks, bol veľmi dlhý.



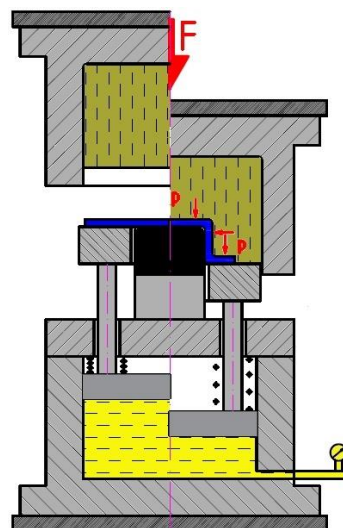
Obr. 6 Technológia sústruženia [17].

- ❖ Kovotlačenie – je rotačný spôsob výroby súčiastok. Rovinný polotovar sa pritlačí k čelu tvárnice príložkou. Následne pomocou pôsobiacich síl vyvolaných kladkou sa kopíruje tvar formy. Kladka môže byť ovládaná buď ručne alebo strojovo. Proces je zobrazený na obrázku 7. Výhodou je použitie pre zložité tvary súčiastok alebo pre dielce, pri ktorých je premenná hrúbka steny. Víčko s hrúbkou steny 2 mm je možné vyrobiť kovotlačením. Rozmerová presnosť IT12 je dosiahnuteľná. Ale vzhľadom na požadovaný zložitý tvar súčiastky by bol proces a nástroje (hlavne forma) zložitý, čo by spôsobilo dlhé časy na vytvorenie koncového tvaru. Z toho dôvodu by výroba 25 000 ks trvala veľmi dlho a technológia nie je vhodná pre veľké série. Naopak výhodou sú nižšie náklady na nástroje.



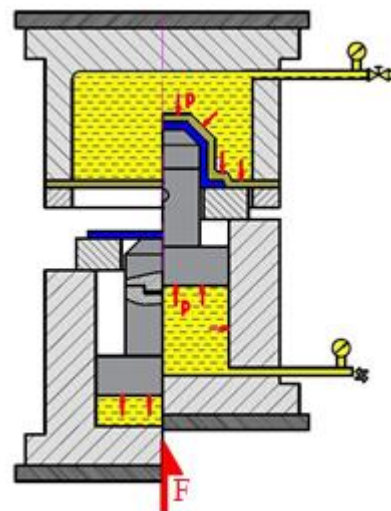
Obr. 7 Technológia kovotlačenia [15].

- ❖ **Technológia Marform** – jedná sa o proces hlbokého ťahania, kde kovovým ťažníkom sa polotovár zatlačuje do nekovovej ťažnice, ktorú tvorí elastomér v ocelevej skrini, a vzniká výťažok požadovaného tvaru. Na obrázku 8 je znázornená technológia, kde na ľavej strane je poloha pred procesom a na pravej strane na jeho konci. Metóda je vhodná pre výrobu víčka, ale vzhľadom na zložitý tvar by bol potrebný zložitý tvar ťažníka. Rozmerovú presnosť IT12 je možné dosiahnuť. Výhodou je zabránenie zvlneniu počas procesu a možnosť dosiahnutia väčšieho pretvorenia počas jedného ťahu. Nevýhodou je nízka rýchlosť procesu, čo spôsobí dlhé výrobné časy a vzhľadom na veľkosť série 25 000 ks bude výroba dlho trvať, čím sa zvýšia náklady na výrobu. Menšou nevýhodou je potreba meniť elastomér po určitom počte vyrobených kusov.



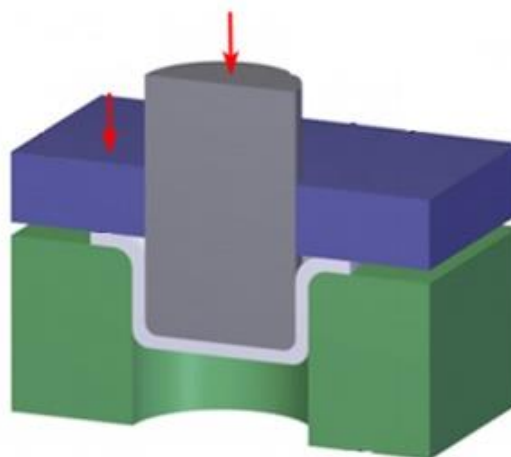
Obr. 8 Marform [18].

- ❖ **Technológia Hydroform** – metóda je podobná technológii Marform, ale namiesto elastickej ťažnice je v tomto prípade tvorená ťažnica kvapalinou, ktorá je utesnená elastomérovou membránou. Proces je znázornený na obrázku 9, kde na ľavej strane je poloha pred začatím tvárnenia a na pravej strane na jeho konci. Je možné vytvoriť veľmi zložité výlisky, preto nenastane problém pri výrobe víčka s hrúbkou steny 2 mm. Výhodou je dosiahnutie rovnakého tlaku v každom mieste polotovaru na základe zákona o rovnomernom šírení tlaku v kvapalinách. To zaručuje, že nenastane zvlnenie materiálu a rovnakú hrúbku steny po celkom povrchu. Preto rozmerová presnosť a kvalita povrchu vyhovuje norme IT12. Nevýhodou sú vysoké počiatočné náklady na nástroje a zložitosť narábania s kvapalinou – jej regulácia a tesnenie. Ďalšou nevýhodou by bol pri veľkosti série 25 000 ks pomerne dlhý výrobný čas.



Obr. 9 Hydroform [18].

- ❖ **Konvenčné hlboké ťahanie** – ide o metódu tvorenia dutého výlisku z rovinného plechu, pri ktorom sa ťažník zatlačuje do ťažnice, a tým do nej vťahuje polotovár, ktorý sa postupne tvaruje do koncovej podoby. Obe hlavné funkčné časti nástroja sú z kovového materiálu. Proces je zobrazený na obrázku 10. Technológia je vhodná pre výrobu víčka s danými vlastnosťami. Hotová súčiastka bude spĺňať rozmerovú presnosť IT12. Výhodou metódy je životnosť nástrojov, krátke pracovné časy a vysoká produktivita, čo znamená, že je vhodná pre veľkosériovú výrobu. Naopak nevýhodou sú veľké počiatočné náklady na nástroje, a preto sa používa pri veľkých sériách.



Obr. 10 Technológia ťahania [15].



Z navrhovaných a vyššie stručne popísaných technológií bude najideálnejšou na výrobu riešenej súčiastky klasické hlboké ťahanie, pretože z popísaných technológií je najvhodnejšie pre veľkosériovú výrobu a 25 000 ks sa za takú považuje. Výroba jedného kusu bude trvať krátky čas a prevádzkové náklady sú pri výrobe malé, to znamená, že náklady priamo na výrobu budú nízke v porovnaní s ostatnými technológiami. Menšou nevýhodou budú väčšie počiatočné náklady na nástroje, prípadne stroje, ale tie sa rozdelia medzi všetky kusy. Hotový výťažok bude spĺňať rozmerovú presnosť a kvalitu povrchu stanovenú výkresom.

Tvar riešenej súčiastky nepatrí medzi jednoduché a pri výrobe bude nutné vytvoriť dva rôzne kalíšky v opačných smeroch. To by bolo možné dosiahnuť spätným ťahaním, kde by sa v jednom smere vytvoril jeden kalíšok a následne v opačnom smere druhý. Ale na uskutočnenie tohto procesu by bolo potreba veľmi zložitého nástroja a zároveň aj trojčinný lis, čo by bolo finančne veľmi drahé a vzhľadom na veľkosť série by sa to nevyplatilo, preto sa požadovaný tvar bude vytvárať vo viacerých operáciách. To znamená, že existujú viaceré možnosti skonštruovania nástrojov podľa počtu operácií, ktoré sa budú v nich vykonávať:

- Prvá varianta – všetky operácie budú prebiehať v samostatnom nástroji. Výhodou by bola jednoduchšia konštrukcia jednotlivých nástrojov. Naopak nevýhodou by boli veľké časové pauzy medzi operáciami, menenie nástrojov a dlhé výrobné časy.
- Druhá varianta – jedná sa o možnosť, kedy sa vytvorenie prístrihu strihaním bude vykonávať v jednom nástroji a operácie ťahania budú prebiehať v druhom. Výhodou by boli kratšie výrobné časy a menší počet nástrojov, nevýhodou by bola ich zložitejšia konštrukcia.
- Tretia varianta – jednalo by sa o návrh, kde by všetky operácie prebiehali v jednom nástroji, takže na výrobu konečného tvaru by bolo nutný iba jeden nástroj. Výhodou by bol najkratší výrobný čas víčka, ale aj najdrahší a najviac zložitý nástroj.

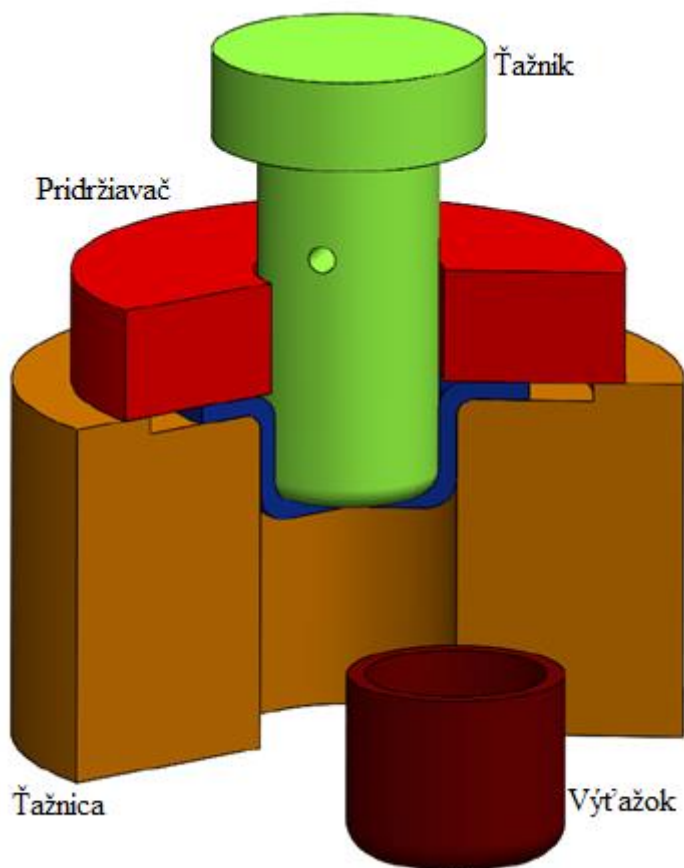


Obr. 11 Príklad postupového tvárniaceho nástroja [19].

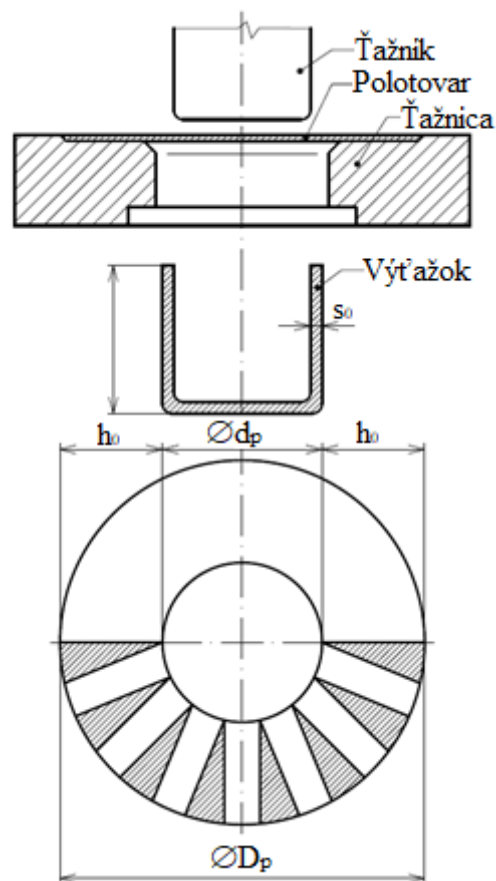
V práci sa nebude riešiť zhotovenie prístrihu strihaním, preto bude nástroj navrhnutý len pre technológiu ťahania, čo je druhá varianta a na každý zdvih sa vytvorí z prístrihu konečný tvar víčka. Tým pádom zbytok práce bude zameraný na technológiu hlbokého ťahania bez stenčenia steny prebiehajúcu v jednom postupovom združenom nástroji (príklad nástroja je na obrázku 11).

## 2 TECHNOLOGIA ŤAHANIA [1], [2], [3], [4], [5], [13], [18], [20], [21], [22]

Ťahanie patrí medzi plošné technológie tvárnenia. Pri procese dochádza k pretvoreniu rovinného prístrihu na duté teleso požadovaného tvaru v jednej alebo vo viacerých operáciách. Jedná sa o priestorový ohyb do nerozvinutého tvaru.



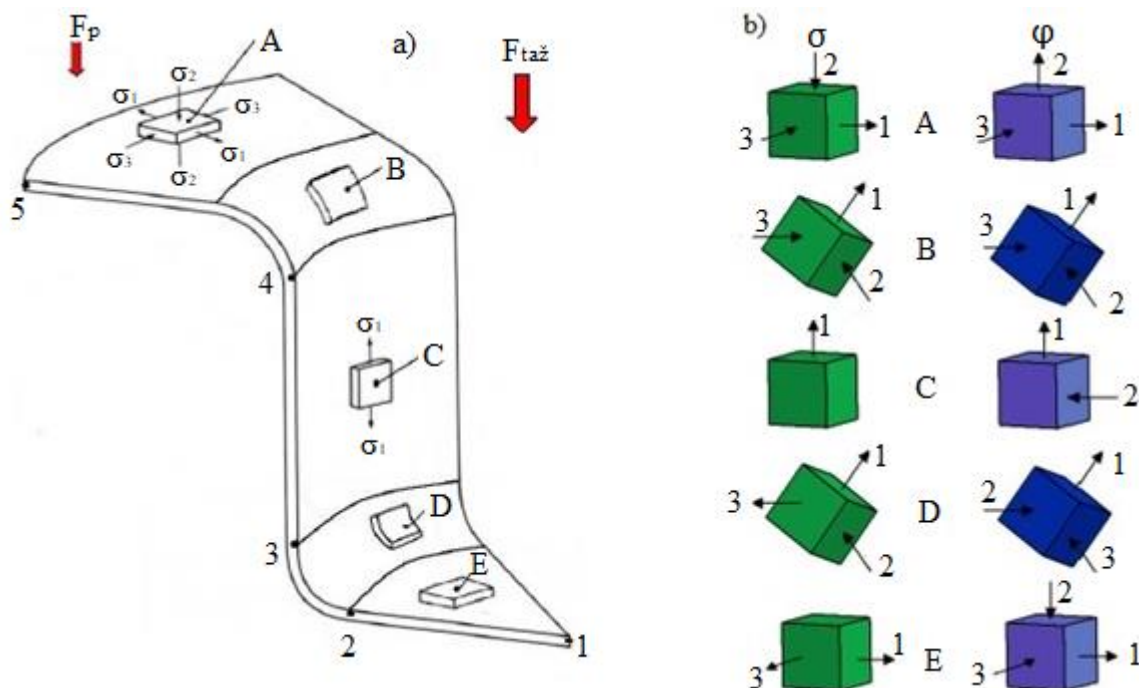
Obr. 12 Princíp ťahania [18].



Obr. 13 Ťahanie valcového výtlačku [18].

Princíp sa najlepšie vysvetlí na ťahaní kruhového polotovaru podľa obrázku 12 a 13. Polotovár o priemere ' $D_p$ ' sa nachádza medzi funkčnými časťami nástroja, položený na ťažnici vo vyhradenom mieste. Následne sa začne ťažník posúvať smerom k ťažnici. Po jeho kontakte s polotovarom pokračuje vo svojom pohybe, a tým začína proces tvárnenia. Následne sa rondel posúva cez ťažnú hranu, ktorá je veľmi namáhaná a vďaka tomu sa rýchlo opotrebuje. Postupne sa polotovár tvaruje do požadovaného tvaru podľa tvaru ťažníka a vytvorí sa kalíšok o priemere ' $d_p$ ' a výške ' $h$ '. Počas procesu platí zákon o stálosti objemu, čo znamená, že objem kovu sa nemení. Preto výška ' $h$ ' má väčšiu veľkosť ako ' $h_0$ ' a to je spôsobené tým, že materiál vyšrafovaných oblastí sa počas procesu presunie smerom k obvodu. Tento pohyb materiálu spôsobuje tangenciálne tlakové napätie. Po dokončení procesu sa ťažník vráti späť na počiatočné miesto a výtlačok sa vytiahne z nástroja.

V základných úvahách o ťahaní sa predpokladá, že hrúbka polotovaru sa v priebehu procesu nemení. Pri reálnom procese to však neplatí. Tak ako už bolo vyššie spomenuté, počas procesu platí zákon zachovania objemu. Preto vplyvom pôsobiacich napätí v materiáli sa v niektorých fázach materiál pečuje a v iných naťahuje. Tieto procesy spôsobujú zmeny hrúbky steny. V praxi sa jedná o určité percentá z pôvodnej veľkosti, a preto sa zväčša zanedbáva. Na obrázku 14a je zobrazená schéma napätosti pri hlbokom ťahaní, smery hlavných napätí a deformácií sú na obrázku 14b.



Obr. 14 Schéma napätosti a smery hlavných napätí a deformácií [22].

Z obrázku 14 je jasné, že proces z hľadiska napätosti sa môže rozdeliť do piatich fáz. Prvá fáza 'A' sa nachádza na prírupe pod pridržiavačom. V tomto mieste dochádza pôsobením tečného napätia ' $\sigma_3$ ' k napechovaniu v tomto smere. Naopak v radiálnom smere pôsobením ťahového ' $\sigma_1$ ' dochádza k predĺženiu materiálu. Ďalej pôsobí ešte ' $\sigma_2$ ' od pridržiavača. Preto v tomto mieste pôsobí priestorová napätosť. Čo sa týka deformácií, tak ' $\phi_1$ ' a ' $\phi_2$ ' pôsobia v kladnom smere a ' $\phi_3$ ' v zápornom smere.

V druhej fáze procesu 'B' pri ohybe na ťažnici dochádza k priestorovému ohybu. Nachádza sa tu podobne ako v predchádzajúcej oblasti priestorová napätosť. V tomto prípade je najväčšie radiálne napätie ' $\sigma_1$ ' a najmenšie tangenciálne ' $\sigma_3$ '. Ich smery sa oproti fázy 'A' nemenia. Takisto deformácia je priestorového charakteru a smery jednotlivých pretvorení sú totožné ako v predchádzajúcom prípade.

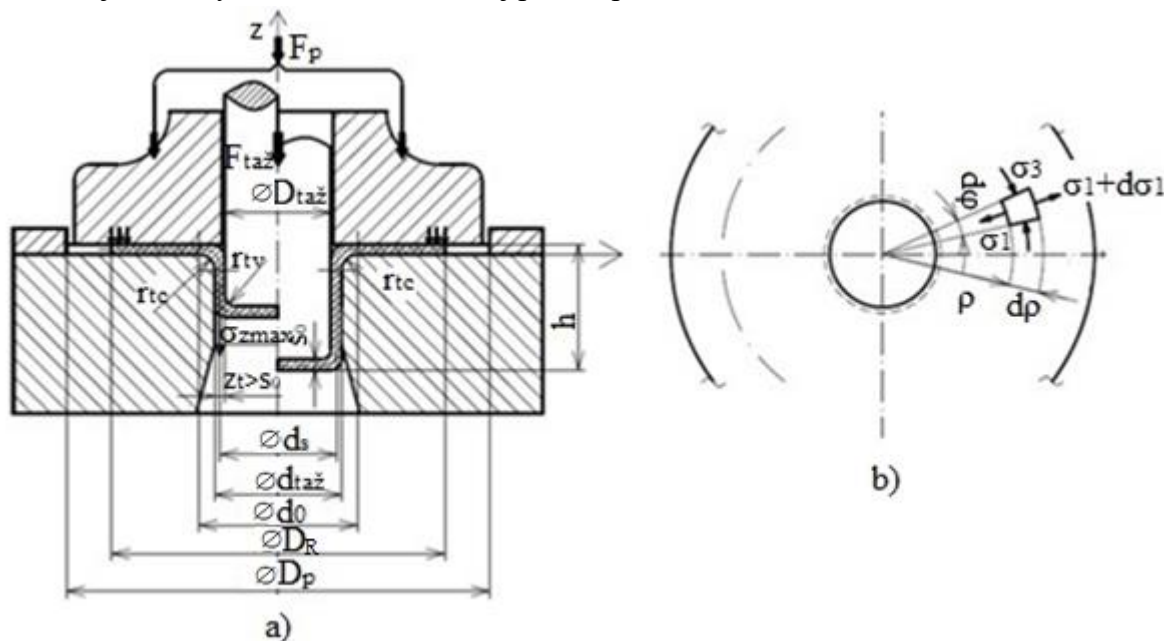
Tretia oblasť 'C' sa nachádza na valcovej časti výťazku, v ktorej nedochádza k veľkým tvarovým zmenám, ale len k minimálnemu stenčeniu steny. To z toho dôvodu, že nie je prítomná priestorová napätosť, ale len jednoosá ťahová ' $\sigma_1$ ' v radiálnom smere. Takisto aj deformácia sa mení z priestorovej na rovinnú. Pretvorenie spôsobené tangenciálnym napätím ' $\phi_3$ ' je v tejto fázy nulové. Deformácia v radiálnom smere ' $\phi_1$ ' je kladná a ' $\phi_2$ ' je záporná.

Ďalšiu oblasť 'D' tvorí prechod medzi valcovým plášťom a dnom výťazku. V tejto časti dochádza k pomerne veľkým zmenám. Dochádza tu k výraznému predĺženiu, a tým pádom aj stenčeniu hrúbky steny. Preto dochádza v tejto oblasti k najviac porušeniam pri hlbokom ťahaní a to buď vo forme nejakej praskliny alebo rovno k utrhnutiu celého dna. Je tu priestorová napätosť, kde ' $\sigma_1$ ', ' $\sigma_3$ ' majú kladný smer a ' $\sigma_2$ ' má záporný smer. Podobne ako napätie, tak aj deformácia je priestorového charakteru. Pretvorenia ' $\phi_2$ ', ' $\phi_3$ ' majú záporný smer a ' $\phi_1$ ' má kladný smer.

Posledná časť 'E' sa nachádza na dne výťazku. Pri jedno operačnom ťahaní dochádza k zanedbateľnému stenčeniu, ale pri viac operačnom môže nastať intenzívne zoslabenie dna. Napätosť má rovinný charakter a smer oboch napätí ' $\sigma_1$ ' a ' $\sigma_3$ ' je kladný. Deformácia si zachováva priestorový charakter a pretvorenia ' $\phi_2$ ' a ' $\phi_3$ ' sú záporné, ' $\phi_1$ ' je kladné.



Tento popis napätostí a deformácií platí pre ťahanie s pridržiavačom a schéma prvej operácie ťahania s prírubou je na obrázku 15. Popis procesu bez pridržiavača je podobný a rozdiel je tvorený len v oblasti, v ktorej pôsobí pridržiavač.



Obr. 15 Schéma prvej operácie ťahania s prírubou [3].

Tak ako už bolo spomenuté, v praxi sa zmena hrúbky steny zanedbáva a uvažuje sa rovnaká hodnota pre celý proces ťahania. Preto je zákon zachovania objemu zjednodušený na zákon stálosti plôch. Týmto zákonom sa riadia veľkosti a priebehy hlavných deformácií pozdĺž rozvinutej povrchy výťazku a sú zobrazené na obrázku 16. Výpočet hlavných logaritmických pretvorení:

$$\varphi_1 = \ln \frac{D_R}{2 \cdot \rho} = \ln \frac{R}{\rho} [-], \quad (2.1)$$

kde:  $\varphi_1$  - logaritmická deformácia v radiálnom smere [-],

$D_R$  - zmenšujúci sa priemer prístrihu [mm],

$R$  - zmenšujúci sa polomer prístrihu [mm],

$\rho$  - aktuálny polomer príruby [mm].

$$\varphi_{1\max} = \ln \frac{D_p}{d_p} [-], \quad (2.2)$$

kde:  $\varphi_{1\max}$  - maximálna logaritmická deformácia v radiálnom smere [-],

$D_p$  - priemer prístrihu

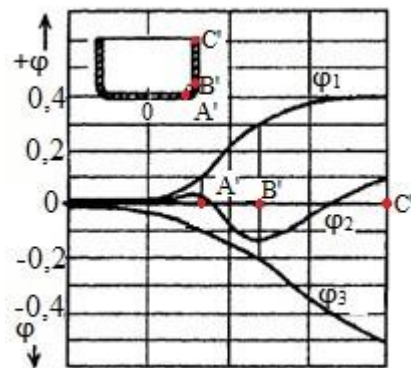
$d_p$  - priemer výťazku [mm].

$$\varphi_3 = -\ln \frac{D_R}{2 \cdot \rho} = -\ln \frac{R}{\rho} [-], \quad (2.3)$$

kde:  $\varphi_3$  - logaritmická deformácia v tangenciálnom smere [-].

$$\varphi_{3\max} = -\ln \frac{D_p}{d_p} [-], \quad (2.4)$$

kde:  $\varphi_{3\max}$  - maximálna logaritmická deformácia v tangenciálnom smere [-].



Obr. 16 Priebeh logaritmických pretvorení [3].

$$\varphi_2 = \ln \frac{s_0}{s} = 0 \quad [-], \quad (2.5)$$

kde:  $\varphi_2$  – logaritmická deformácia v axiálnom smere [-],  
 $s_0$  – hrúbka steny pred deformáciou [mm],  
 $s$  – hrúbka steny po deformácii [mm].

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad [-]. \quad (2.6)$$

Podľa obrázka 15 je možné definovať pomernú deformáciu na konci prírubby a na vnútornom povrchu nádoby vzťahmi:

$$\varepsilon_D = \frac{D_p - D_R}{D_p} \quad [-], \quad (2.7)$$

kde:  $\varepsilon_D$  – pomerná deformácia na konci prírubby [-].

$$\varepsilon_{d1} = \frac{D_p - d_{taž}}{D_p} \quad [-], \quad (2.8)$$

kde:  $\varepsilon_{d1}$  – pomerná deformácia na vnútornom povrchu nádoby [-],  
 $d_{taž}$  – priemer ťažnice [mm].

Proces hlbokého ťahania sa uskutočňuje vďaka pôsobeniu ťažnej sily ťažníka na polotovar, ktorá musí prekonať deformačný odpor, ktorý vyjadruje odpor materiálu voči jeho pretvoreniu. V priebehu procesu sa tento deformačný odpor mení, preto sa mení aj hodnota ťažnej sily. Vplyv na veľkosť deformačného odporu má mnoho činiteľov od radiálneho ťahového napätia, ktoré je závislé od polomeru 'p', napätia vyjadrujúceho trenie medzi pridržiavačom a prístrihom, napätia vyjadrujúceho odpor voči ohybu na ťažnej hrane až po vplyv trenia opásaním ťažnej hrany. Tieto závislosti sa vyjadria rovnicou:

$$\sigma_d = (\sigma_1 + \sigma_f + 2\sigma_o) \cdot e^{f\alpha} \quad [MPa], \quad (2.9)$$

kde:  $\sigma_d$  - deformačný odpor [MPa],  
 $\sigma_1$  – napätie v radiálnom smere [MPa],  
 $\sigma_f$  – zložka napätia od trenia pridržiavača [MPa],  
 $\sigma_o$  – odpor voči ohybu na ťažnej hrane [MPa],  
 $f$  – súčiniteľ trenia [-],  
 $\alpha$  – uhol opásania [rad].

Niektorí autori vplyv odporu voči ohybu vyjmú zo zátvorky, čím na toto napätie nemá vplyv trenie od opásania ťažnej hrany:

$$\sigma_d = (\sigma_1 + \sigma_f) \cdot e^{f\alpha} + 2\sigma_o \quad [MPa]. \quad (2.10)$$

Pre určenie napätia v radiálnom a tečnom smere sa používa riešenie podľa Sachse. Najskôr sa zostaví silová rovnováha podľa obrázka 15 pre diferenciálne malý element na prírube polotovaru. Po jej úprave a zjednodušení vyjde vzťah:

$$\frac{d\sigma_1}{d\rho} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\rho} = 0, \quad (2.11)$$

kde:  $d\sigma_1$  – diferenciálne malé  $\sigma_1$  [MPa],  
 $d\rho$  – diferenciálne malé  $\rho$  [mm],  
 $\sigma_3$  – tečné tangenciálne napätie [MPa].

Ten sa musí následne zintegrovat' a po nej sa dosadia integračné konštanty ( $\rho = D_p / 2$ ,  $\sigma_p = 0$ ).

Riešenie prebieha za podmienky plasticity:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \xi \cdot \sigma_p, \quad (2.12)$$

kde:  $\sigma_p$  – prirodzený pretvárný odpor [MPa],

$\xi$  – Lodeho súčiniteľ [-].

Konečný tvar základnej rovnice pre ideálne radiálne a tečné napätie:

$$\sigma_1 = \xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln \frac{R}{\rho} \quad [\text{MPa}], \quad (2.13)$$

kde:  $\sigma_{ps}$  – stredná hodnota prirodzeného pretvárneho odporu [MPa].

$$\sigma_3 = -\xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right) \quad [\text{MPa}]. \quad (2.14)$$

Ďalšou zložkou deformačného odporu je vplyv trenia od pridržiavača. Toto trenie vyjadruje brzdiaci účinok pri pohybe príruby a nachádza sa medzi prírubou a pridržiavačom a aj medzi prírubou a ťažnicou, viď obrázok 17. Veľkosť jeho účinku je vyjadrená z Coulombova vzťahu, ktorým sa vypočíta sila pôsobiaca proti pohybu príruby:

$$F_f = f \cdot F_p \quad [\text{N}], \quad (2.15)$$

kde:  $F_p$  – sila od pridržiavača [N].

Páni Popov a Storožev stanovili pôsobenie sily od trenia na okraj príruby, kde je najväčšia hrúbka polotovaru. Vzťah pre napätie spôsobené vplyvom trenia za predpokladu rovnomerného rozloženia napätia od trenia po celej hrúbke príruby:

$$\sigma_f = \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot R \cdot s_0} \quad [\text{MPa}]. \quad (2.16)$$

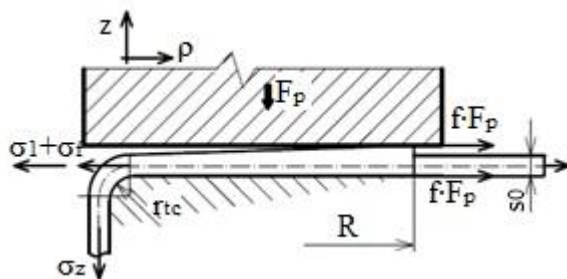
Poslednou zložkou deformačného odporu je vplyv ohybu na ťažnej hrane. Schéma ohybu je na obrázku 18. Zmena krivosti pri vstupe do ťažnice a následným narovnaním je spojená deformačná práca. Platí rovnosť práce vykonanej vonkajšími silami a práce momentu z podmienky rovnováhy pri premiestnení o uhol  $d\alpha$ . Po úprave danej rovnosti vyjde výsledná rovnica pre ohybové napätie:

$$2 \cdot \sigma_o = \sigma_p \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc} + s_0} \quad [\text{MPa}], \quad (2.17)$$

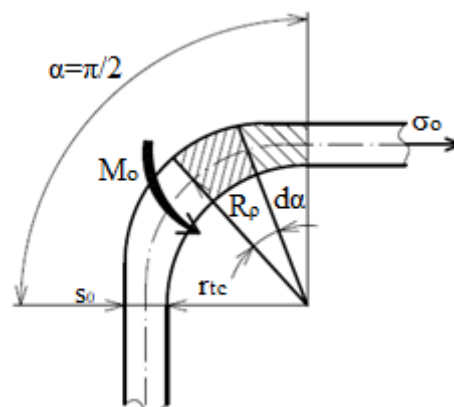
kde:  $r_{tc}$  – polomer zaoblenia ťažnej hrany ťažnice [mm].

Po dosadení jednotlivých zložiek (2.13, 2.16, 2.17) deformačného odporu do rovnice (2.9) a pri uvážení uhlu opásania ťažnej hrany  $\alpha = \pi/2$  sa dostane výsledná rovnica pre deformačný odpor:

$$\sigma_d = \sigma_{ps} \cdot \left[ \xi \cdot \ln \frac{R}{\rho} + \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot \sigma_{ps} \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc} + s_0} \right] \cdot (1 + 1,6 \cdot f) \quad [\text{MPa}]. \quad (2.18)$$



Obr. 17 Vplyv trenia na napätosť [4].



Obr. 18 Vplyv ohybu na deformačný odpor [4].

## 2.1 Veľkosť prístrihu [2], [5], [18], [20], [24], [25]

Je veľmi dôležité stanoviť pomerne presne veľkosť polotovaru, pretože pri malom prístrihu by sme nedosiahli požadovaného tvaru a pri veľkom prístrihu by sme naopak mali veľký odpad. Stanovenie polotovaru ide:

- Výpočtom zo zákona zachovania objemu - z ktorého vyplýva, že objem pred deformáciou sa rovná objemu po deformácii:

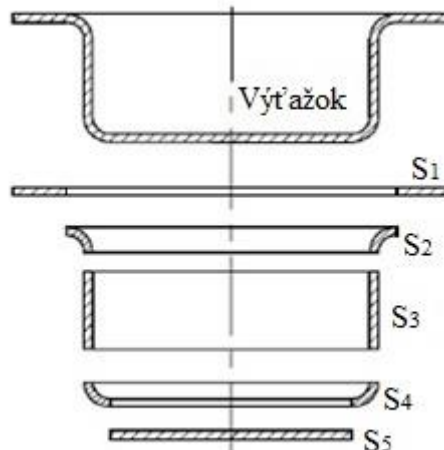
$$V_p = S_p \cdot s_0 = \left( \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \right) \cdot s_0 = V_v \text{ [mm}^3\text{]}, \quad (2.19)$$

kde:  $S_p$  – plocha prístrihu [mm<sup>2</sup>],

$V_v$  – objem hotového výťazku [mm<sup>3</sup>],

$V_p$  – objem prístrihu [mm<sup>3</sup>].

Keďže zákon zachovania objemu sa zjednodušuje na zákon stálosti povrchu, tak z toho vyplýva, že obsah plochy konečného výťazku sa musí rovnať obsahu plochy rondela. Takže najskôr sa rozdelí výťazok na jednoduchšie plochy ako na obrázku 19. Potom sa vypočítajú obsahy povrchov týchto plôšok (príklady výpočtov sú v prílohe 2). Pri tenkých plechoch do 2 mm sa počíta s vonkajšími rozmermi a pri hrubších plechoch sa počíta so stredným rozmerom hrúbky plechu. Nakoniec sa sčítajú a dostane sa obsah celkového povrchu výťazku. Tomu sa rovná obsah povrchu prístrihu. Výsledný priemer prístrihu pre kruhový polotovar sa získa zo vzťahu:



Obr. 19 Rozdelenie výťazku na jednoduchšie plochy [5].

$$D_p = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_p} \text{ [mm]}. \quad (2.20)$$

- Špeciálnym vzorcom - priamo dosadenie do stanovených vzorcov pre často používané tvary výťazkov, v ktorých sa často zanedbáva zaoblenie. Príklad výpočtu pre kalíškový tvar:

$$D_p = \sqrt{d_p^2 + 4 \cdot d_p \cdot h} \text{ [mm]}, \quad (2.21)$$

kde:  $h$  – výška hotového výťazku [mm].

- Guldinovým pravidlom – používa sa v prípade, keď rozdelenie na jednoduchšie tvary povrchov nie je možné alebo sa nejedná o častý tvar, pre ktorý je stanovený vzorec výpočtu. To znamená, že povrch telesa, ktorý je vytvorený otočením krivky ľubovoľného tvaru podľa osi, sa rovná súčinu dĺžky krivky 'L' a dráhy ťažiska krivky 'x':

$$S_p = 2 \cdot \pi \cdot x \cdot L \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.22)$$

kde:  $x$  – dráha ťažiska krivky [mm],

$L$  – dĺžka krivky [mm].

$$D_p = \sqrt{8 \cdot x \cdot L} \text{ [mm]}, \quad (2.23)$$

Súčin dĺžky krivky a dráhy jej ťažiska je možné napísať aj v tvare:

$$L \cdot x = L_1 \cdot x_1 + L_2 \cdot x_2 + \dots + L_n \cdot x_n \text{ [mm]}, \quad (2.24)$$

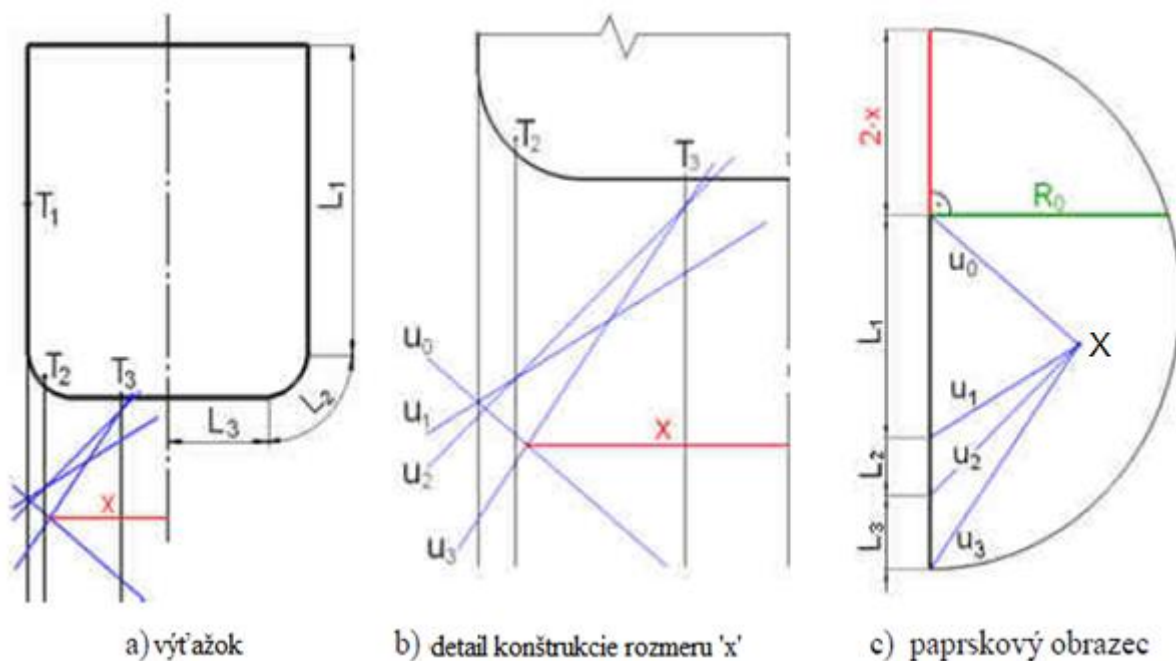
kde:  $x_{1,2,\dots,n}$  – dráha ťažiska krivky jednotlivých úsekov od osi rotácie [mm],

$L_{1,2,\dots,n}$  – dĺžka krivky jednotlivých úsekov tvoriacich krivku [mm].

- Počítačovým softwarom - pokiaľ je potrebné získať veľmi presné výsledky, je možné použiť niektorý z modelovacích programov ako napr. autodesk inventor, solidworks a pod. V nich

sa vymodeluje výt'ážok, potom priamo z modelu je možné zistiť objem a z neho sa spočíta priemer polotovaru.

- Normogramom - spôsob je síce jednoduchý, pretože stačí poznať priemer a výšku výt'ážku a priamo z normogramu sa získa veľkosť prístrihu. Ale tento spôsob nie je moc presný a využíva sa skôr na kontrolu alebo pri veľmi jednoduchých výt'ážkoch.
- Grafickým riešením - vychádza z Guldinovej vety a je zobrazené na obrázku 20. Najskôr sa rozdelí krivka na niekoľko úsekov ( $L_1, L_2, L_3$ ). V každom úseku sa nájde ťažisko a vytvorí sa rovnobežka s osou výt'ážku ako na obrázku 20a. Potom sa dĺžky úsekov nakreslia postupne priamo pod seba ako na obrázku 20c. Nasleduje vytvorenie ľubovoľného bodu a spojenie tohto bodu s koncovými bodmi dĺžok úsekov a vzniknú úsečky 'u'. Potom sa tieto úsečky postupne prenesú do obrázku 20a. V mieste, kde posledná úsečka 'u<sub>n</sub>' pretne úsečku 'u<sub>0</sub>' vznikne ťažisko tvoriacej krivky. Vzdialenosť ťažiska od osy výt'ážku je označená 'x'. Dvojnásobok tejto hodnoty sa nakreslí do obrázku 20c do počiatku, ale opačným smerom ako sú dĺžky úsekov ( $L_1, L_2, L_3$ ). Vytvorí sa pol kružnica ako podľa obrázku. Nakoniec sa vytvorí kolmica na úsečku tvorenú dĺžkami úsekov ( $L_1, L_2, L_3$ ) a rozmerom 'x' vychádzajúca z počiatku. Polomer je rovný dĺžke tejto úsečky od počiatku po prienik s kružnicou.



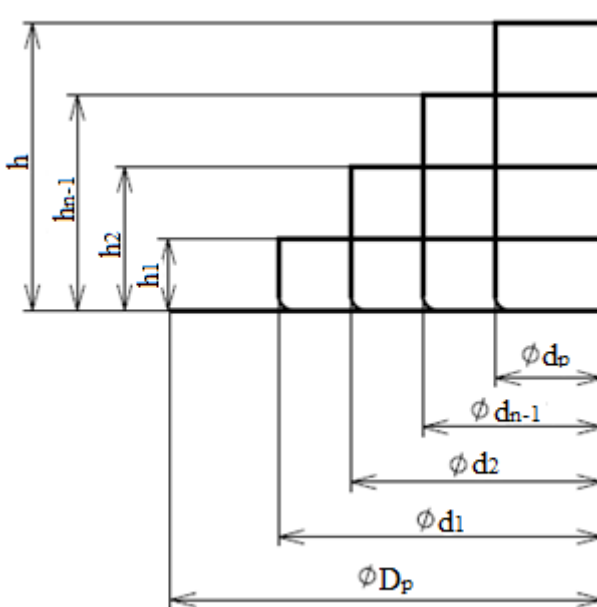
Obr. 20 Grafický spôsob určenia rozmeru Guldinovým pravidlom [25].

Po zistení priemeru prístrihu je nutné ešte vypočítanú hodnotu zvýšiť kvôli cípatosti. Cípatosť vzniká behom ťahania a označujú sa tým nerovné okraje. To znamená, že tieto okraje po konci procesu budú musieť byť odstránené, a preto sa musí zvýšiť priemer prístrihu. Keď sa jedná o jedno operačné ťahanie, tak sa zvyšuje priemer o 3 %. Pokiaľ je viac operačné, tak s každým ďalším ťahom sa zvyšuje o 1 %.

## 2.2 Parametre [1], [2], [3], [4], [5], [18], [20], [23], [24], [25], [26]

K dosiahnutiu požadovaných tvarov a rozmerov u výrobku je nutné dodržať mnoho základných technologických a konštrukčných parametrov:

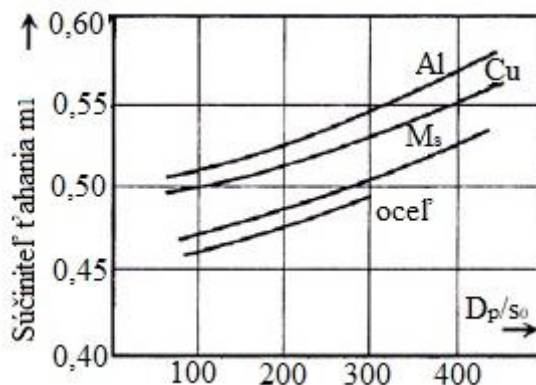
- Súčiniteľ ťahania a počet ťažných operácií – dosiahnutie konečného tvaru výtlačku je možné buď jedným alebo viacerými ťahmi (obrázok 21). Záleží to hlavne na zložitosti tvaru, veľkosti výtlačku, druhu a hrúbky materiálu. V praxi je snaha dosiahnuť konečného tvaru s čo najmenším počtom ťahov a s čo najväčším pretvorením v jednom ťahu. Z prístrihu o nejakom priemere je možné zhotoviť výtlačok v priebehu jednej operácie len o určitom priemere. K rýchlemu odhadu či je možné výtlačok zhotoviť iba na jeden ťah je možné použiť normogram, ktorý je v prílohe 3. Pokiaľ to nie je možné a konečný priemer je menší ako ten, ktorý je možné dostať z jedného ťahu, tak sa musí použiť väčší počet ťahov. Keby sa skúsilo v takomto prípade ťahať na jednu operáciu, mohlo by dôjsť k porušeniu materiálu a vzniku trhlin. Toto porušenie by vzniklo pôsobením



Obr. 21 Postup ťahania viacerými ťahmi [4].

narastajúceho radiálneho ťahového napätia na valcovej ploche kalíška. Pri ťahaní viac ako piatimi operáciami je nutné zaradiť tepelné spracovanie po piatej operácii. Konkrétne sa jedná o rekryštalizačné žihanie, ktoré obnoví plasticitu materiálu a bude možné prevádzkať ďalšie ťahy.

Počet ťažných operácií závisí na súčiniteli ťahania, ktorý vyjadruje zmenšenie počiatočného priemeru prístrihu. Na jeho veľkosť má vplyv mnoho faktorov ako napr. druh a kvalita plechu, hrúbka plechu, geometria ťažníka a ťažnice, pomerná hrúbka plechu, podmienky ťahania a pod. Hodnoty súčiniteľa ťahania sa pohybujú od 0,5 do 0,9. Čím menší je súčiniteľ, tým väčšie pretvorenie prebieha v danej operácii. Preto býva najmenší pri prvej operácii a postupne narastá. Jeho hodnoty je možné zistiť z grafu na obrázku 22, prípadne z tabuliek. Vypočíta sa ako pomer vzniknutého priemeru voči pôvodnému priemeru.



Obr. 22 Medzné hodnoty súčiniteľa ťahania [4].

- Pre prvú operáciu:

$$m_1 = \frac{d_1}{D_p} [-], \quad (2.25)$$

kde:  $d_1$  – priemer výtlačku po prvej operácii [mm],

$m_1$  – súčiniteľ ťahania pre prvú operáciu [-].



- Pre druhú operáciu:

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1} [-], \quad (2.26)$$

kde:  $d_2$  – priemer výťazku po druhej operácii [mm],

$m_2$  – súčiniteľ ťahania pre druhú operáciu [-].

- Pre poslednú operáciu:

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} [-], \quad (2.27)$$

kde:  $d_n$  – konečný priemer výťazku [mm],

$d_{n-1}$  – predposledný vonkajší priemer výťazku [mm],

$m_n$  – súčiniteľ ťahania pre poslednú operáciu [-].

- Celkový súčiniteľ ťahania je možné vypočítať dvoma spôsobmi:

$$m_c = \frac{d_n}{D_p} [-], \quad (2.28)$$

kde:  $m_c$  – celkový súčiniteľ ťahania [-].

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n [-]. \quad (2.29)$$

Príklady hodnôt súčiniteľa ťahania pre jednotlivé operácie sú v tabuľke 3:

Tab. 3 Hodnoty súčiniteľa ťahania [26].

Číslo ťahu	Súčiniteľ ťahania	Pomerná hrúbka polotovaru $s_0 / D_p \cdot 100$ (%)					
		2,0-1,5	1,5-1,0	1,0-0,6	0,6-0,3	0,3-0,15	0,15-0,08
1.	$m_1$	0,5	0,53	0,55	0,58	0,60	0,63
2.	$m_2$	0,75	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82
3.	$m_3$	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84
4.	$m_4$	0,8	0,82	0,82	0,83	0,85	0,86
5.	$m_5$	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88

V niektorých krajinách sa nepoužíva súčiniteľ ťahania, ale stupeň ťahania, ktorý je definovaný ako obrátená hodnota súčiniteľa:

$$K_T = \frac{1}{m} [-]. \quad (2.30)$$

Počet ťahov je závislý na súčiniteli ťahania pre prvý ťah a pre strednú hodnotu ďalších ťahov, na počiatocnom a konečnom priemere a vypočíta sa podľa nasledujúceho vzorca:

$$n = 1 + \frac{\ln(d_p) - \ln(m_1 \cdot D_p)}{\ln(m^*)} [-], \quad (2.31)$$

kde:  $m^*$  - stredný súčiniteľ ťahania pre ďalšie ťahy (0,75 – 0,85) [-],

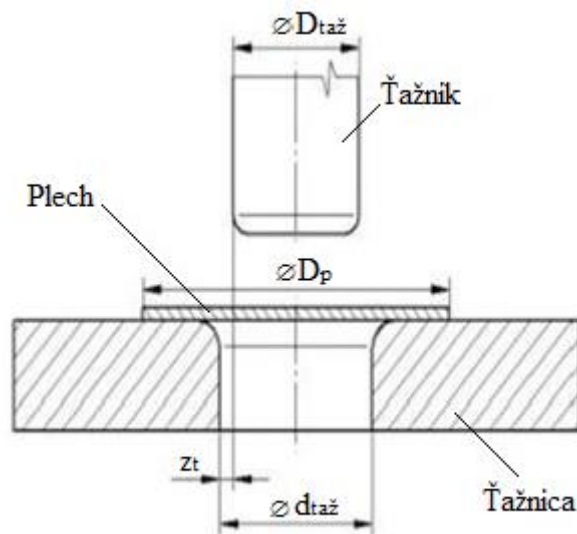
$n$  – nutný počet ťažných operácií [-].

Pokiaľ vyjde počet nutných ťažných operácií do hodnoty 1,2, tak sa predpokladá zhotovenie výťazku na jednu ťažnú operáciu. Pokiaľ vyjde viac, tak sú nutné dve alebo viacero ťažných operácií. V takýchto situáciách sa určuje počet ťahov zaokrúhlením na najbližšie vyššie celé číslo.

- **Ťažná medzera** – je označenie medzery medzi ťažníkom a ťažnicou a počas procesu ju vyplňa tvárnený polotovar. Je to polovica ťažnej vôle. Využíva sa na zmenšenie trenia medzi ťažnicou a polotovarom, a tým zníženia veľkosti ťažnej sily. Je zobrazená na obrázku 23.

Je dôležité ju stanoviť správne, pretože pri malej ťažnej medzere sa bude stenčovať stena plechu, tým bude narastať veľkosť ťažnej sily, a tým môže dôjsť k odtrhnutiu dna výťazku. Naopak ak by bola veľká, tak by dochádzalo k tvorbe sekundárnych vln na plášti výťazku.

Jej veľkosť sa volí väčšia ako je hrúbka plechu vrátane tolerancie s ohľadom na zníženie ťažnej sily. Výnimku tvorí iba kalibrovanie, kedy sa jej veľkosť rovná hrúbke plechu. Existuje viacero spôsobov jej zistenia:



Obr. 23 Ťažná medzera [1].

Doporučený výpočet podľa ČSN 22 7301 je odlišný pre prvý ťah a pre ďalšie ťahy:

- Prvý ťah:

$$z_t = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 \text{ [mm]}, \quad (2.32)$$

kde:  $z_t$  – ťažná medzera [mm].

- Pre ďalšie ťahy:

$$z_t = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s_0 \text{ [mm]}. \quad (2.33)$$

Výpočet pre ťažnú medzeru, ktorý stanovil pán Oehler. Tento výpočet zahŕňa maximálnu hrúbku plechu a druh materiálu:

$$z_t = s_{\max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} \text{ [mm]}, \quad (2.34)$$

kde:  $s_{\max}$  – maximálna hrúbka ťahaného materiálu [mm],

$k$  – materiálový súčiniteľ (pre oceľ  $k = 0,07$ ) [-].

Stanovenie medzery pre základné hrúbky plechu podľa tabuľky 4.

Tab. 4 Závislosť veľkosti ťažnej vôle k hrúbke plechu [5].

Hrúbka plechu [mm]	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	3
Ťažná vôľa [mm]	0,45	0,65	0,9	1,2	1,4	1,75	2,4	3,5

- **Voľba pridržiavača** – počas procesu ťahania pôsobením tečného napätia na prírubu je prírubu namáhaná na vzpier, čo môže spôsobiť zvlnenie príruby (primárna strata stability) ako je zobrazené na obrázku 24. Vlny vznikajú väčšinou pri veľkom stupni deformácie. Ďalšími možnými príčinami vzniku vln sú anizotropia plechu (rozdielnosť fyzikálnych vlastností materiálu v rôznych smeroch) alebo nevhodné použité mazivo. Ako opatrenie proti vzniku vln sa používa pridržiavač, ktorý tlačí prístrih k ťažnici, čím zabráňuje tvorbe vln. Použitie pridržiavača záleží na viacerých faktoroch ako napríklad hrúbke plechu, druhu materiálu, kvalite



Obr. 24 Vlny v príruhe [1].



polotovaru, stupni pretvoren. Pri malom stupni pretvoren, čo sa jedná o plytk thanie, nie je potreba pridržiavača. Takisto pri hrubých plechoch nie je potrebn. Naopak pri tenkých plechoch je potrebn vdy. Nutnosť pridržiavača pri hlbokom than je možné zistiť niekoľkými rôznymi empirickými vzťahmi overenými praxou:

- Podľa normy ČSN 22 7301, najskôr sa určí sinitel’  $a$ :

$$a = 50 \cdot \left( y - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_p}} \right) [-], \quad (2.35)$$

kde:  $y$  – materilov konštanta (hlboko tan plech = 1,9) [-].

Potom sa dosad do rovnosti pre prv tah:

$$a > 100 \cdot \frac{d_1}{D_p} \rightarrow \text{ak platí, je nutné použiť pridriava.} \quad (2.36)$$

$$a < 100 \cdot \frac{d_1}{D_p} \rightarrow \text{ak platí, nie je potrebn použiť pridriava.} \quad (2.37)$$

V prípade, že je pridriava pouit v prvom tahu, tak je potreba ho použiť aj v dalch tahoch, ak platí podmienka:

$$\frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9. \quad (2.38)$$

- Podľa Freidlinga z pomernej hrúbky:

$$\Delta s = \frac{s_0}{D_p} \cdot 100 [-], \quad (2.39)$$

kde:  $\Delta s$  – pomern hrúbka [-].

$$\Delta s < 1,5 \rightarrow \text{je nutné použiť pridriava,} \quad (2.40)$$

$$\Delta s > 2 \rightarrow \text{nie je potrebn použiť pridriava,} \quad (2.41)$$

$$\Delta s = 1,5 - 2 \rightarrow \text{treba overiť spôsob thania.} \quad (2.42)$$

- Podľa ofmana, thanie bez pridržiavača ak je splnen podmienka:

$$D_p - d_1 \leq s_0 \cdot 18. \quad (2.43)$$

Okrem zistenia potreby pridržiavača je dleit stanoviť jeho mern tlak. Ten je zvisl na druhu materiálu výtťažku, hrúbke plechu, súčiniteli thania. Jeho veľkosť je možné stanoviť z grafov alebo tabuliek. Príklady rozsahov hodnôt merného tlaku v závislosti na druhu materiálu sú v tabuľke 5. V skutočnosti sa často tlak pridržiavača nastavuje experimentálne tak, aby nedochádzalo počas procesu k nežiadúcim poruchám. Pri malom tlaku je možnosť vzniknutia vln a naopak pri veľkom tlaku bude brániť vthovaniu polotovaru do tanice, čím sa zvyi potrebn tan sila a môžu vzniknúť trhliny.

Tab. 5 Mern tlak pridržiavača [4].

Than materiál – plech	Hlboko than ocele	Nerez ocele
p [MPa]	2 – 3	2 – 5

Sila pridržiavača je priamo mern mernmu tlaku a ploche, na ktor tento tlak pôsobí. Jej veľkosť sa stanoví vzorcom:

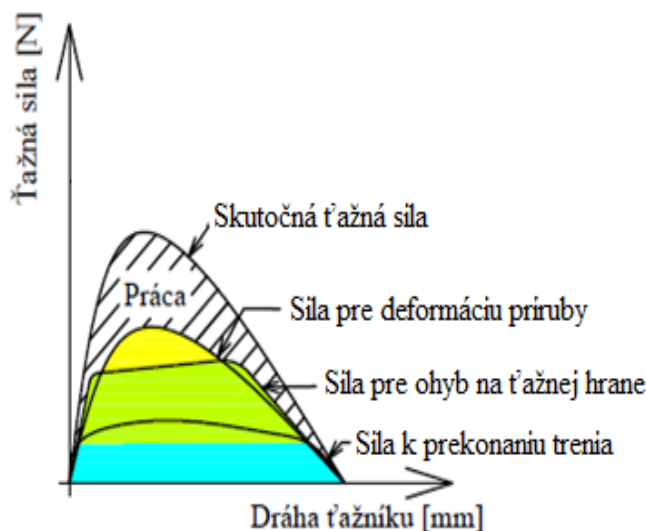
$$F_p = S_{pr} \cdot p [N], \quad (2.44)$$

kde:  $p$  – mern tlak pridržiavača [MPa],

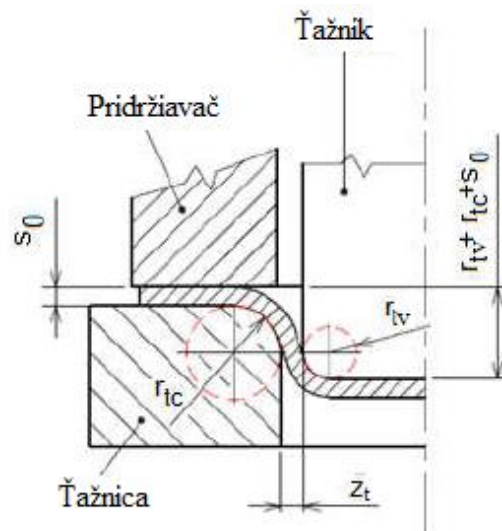
$S_{pr}$  – obsah plochy príruby [mm<sup>2</sup>].

### 2.3 Sila a práca [1], [2], [3], [4], [5], [18], [27], [28]

Veľkosť ťažnej sily je veľmi dôležitý parameter, ktorý je vždy nutné poznať. A to z toho dôvodu, že podľa jej veľkosti sa ďalej volí stroj tak, aby dokázal bez problémov vykonať výrobný proces. Pokiaľ sa výroba skladá z viacerých operácií v jednom nástroji, tak celková ťažná sila sa vypočíta ako súčet síl v jednotlivých krokoch.



Obr. 25 Priebeh a zložky sily [1].



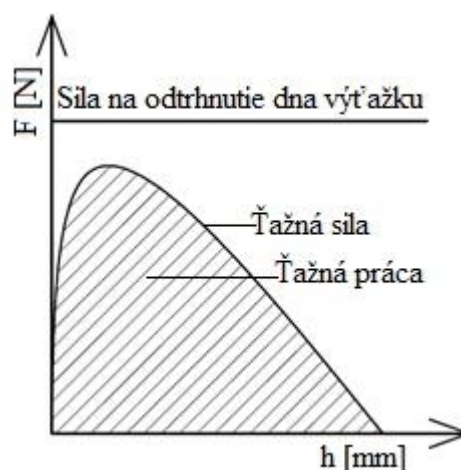
Obr. 26 Poloha pri maximálnej ťažnej sile [28].

Sila potrebná na vykonanie jedného ťahu sa skladá z viacerých zložiek. Hlavnou zložkou je ťažná sila, ktorá vykonáva tvárniaci proces. Táto sila sa skladá z troch častí. Je to sila na prekonanie trenia, sila na ohyb na ťažnej hrane a sila na deformáciu príruby. Veľkosť sily v priebehu procesu nie je konštantná. Jej priebeh a rozloženie jednotlivých zložiek je zobrazený na obrázku 25. Ako je z tohto obrázku vidieť, tak sila od začiatku procesu postupne narastá až po maximálnu hodnotu, ktorá nastane v mieste, kedy stredu polomerov zaoblenia ťažnice a ťažníka sú na rovnakej úrovni, vid' obrázok 26. Po prekonaní tejto hranice sila postupne klesá. Priebeh sily nie je konštantný, pretože závisí od prekonávania deformačného odporu, ten sa v priebehu procesu mení a bol popísaný v predchádzajúcich kapitolách. Pre výpočet je možné použiť viacero vzťahov. Jedným z hlavných je výpočet podľa Sachse, ktorý vyplýva z výpočtu deformačného odporu (2.17):

$$F_t = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot \sigma_{ps} \cdot \left[ \xi \cdot \ln \frac{R}{\rho} + \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot \sigma_{ps} \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc} + s_0} \right] \cdot (1 + 1,6 \cdot f) \quad [N], \quad (2.45)$$

kde:  $d_s$  – je stredná hodnota priemeru výtlačku [mm].

Tento vzťah slúži na získanie veľkosti ťažnej sily len v istom okamžiku tvárniaceho procesu, pretože je závislý na meniacom sa polomere príruby 'p'. Nakoľko je tento výpočet veľmi zložitý, tak sa v praxi moc nevyužíva. Pre rýchlejší a jednoduchší výpočet sa využíva empirický vzorec na výpočet sily potrebnej na odtrhnutie dna. Tento výpočet vznikol na základe uvedomenia si, že v každom prípade musí byť sila potrebná na tvárnenie prístrihu menšia, ako sila na odtrhnutie dna. Toto tvrdenie je zobrazené na obrázku 27.



Obr. 27 Sila na odtrhnutie dna [2].

Vzt'ah pre výpočet sily na odtrhnutie dna ma nasledujúci tvar:

$$F_{ik} = c \cdot \pi \cdot d_p \cdot s_0 \cdot R_m [N], \quad (2.46)$$

kde:  $R_m$  – medza pevnosti materiálu polotovaru [MPa],

$c$  – súčiniteľ vyjadrujúci vplyv súčiniteľa ťahania s prihliadnutím k pomernej hrúbke [-].

Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv súčiniteľa ťahania s prihliadnutím na pomernú hrúbku sa určí pre jednotlivé ťahy z tabuliek 6 a 7. Konkrétna hodnota sa určí podľa súčiniteľa ťahania a pomernej hrúbky polotovaru alebo súčiniteľa ťahania a pomerného priemeru polotovaru:

Tab. 6 Súčiniteľ 'c' pre prvý ťah [27].

Pomerná hrúbka polotovaru ( $s_0 / D_p$ ).100	Pomerný priemer polotovaru $D_p / s_0$	Súčiniteľ ťahania $m_1 = d_1 / D_p - 1$ . ťah									
		0,45	0,48	0,50	0,52	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
5,0	20	0,95	0,85	0,75	0,65	0,60	0,50	0,43	0,35	0,28	0,20
2,0	50	1,10	1,00	0,90	0,80	0,75	0,60	0,50	0,42	0,35	0,25
1,2	83		1,10	1,00	0,90	0,80	0,68	0,56	0,47	0,37	0,30
0,8	125			1,10	1,00	0,90	0,75	0,60	0,50	0,40	0,33
0,5	200				1,10	1,00	0,82	0,67	0,55	0,45	0,36
0,2	500		Oblasť pretrhnutia				1,10	0,90	0,75	0,60	0,50
0,1	1 000						1,10	0,90	0,75	0,60	0,50

Tab. 7 Súčiniteľ 'c' pre ďalšie ťahy [27].

Pomerná hrúbka polotovaru (s <sub>0</sub> / D <sub>p</sub> ).100	Pomerný priemer polotovaru D <sub>p</sub> / s <sub>0</sub>	Súčiniteľ ťahania m <sub>n</sub> = d <sub>n</sub> / d <sub>n-1</sub> – 2. a ďalšie ťahy									
		0,70	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82	0,85	0,88	0,90	0,92
5,0	11	0,85	0,70	0,60	0,50	0,42	0,32	0,28	0,20	0,15	0,12
2,0	4	1,10	0,90	0,75	0,60	0,52	0,42	0,32	0,25	0,20	0,14
1,2	2,5	Oblasť pretrhnutia	1,10	0,90	0,75	0,62	0,52	0,42	0,30	0,25	0,16
0,8	1,5			1,00	0,82	0,70	0,57	0,46	0,35	0,27	0,18
0,5	0,9			1,10	0,90	0,76	0,63	0,50	0,40	0,30	0,20
0,2	0,3				1,00	0,85	0,70	0,56	0,44	0,33	0,23
0,1	0,15				1,10	1,00	0,82	0,68	0,55	0,40	0,30

Ďalšou zložkou sily na vykonanie jedného ťahu môže byť v prípade použitia pridržiavača jeho sila, ktorá bola popísaná v predchádzajúcich kapitolách a jej veľkosť sa stanoví vzt'ahom (2.44). Ale pripočítava sa iba vtedy, ak pôsobí proti pohybu barana stroju, čo sa deje len pri mechanickom, ktorý je prepojený na hlavný baran.

Poslednou zložkou je sila od vyhadzovača. Podobne ako pri pridržiavači, tak aj táto sila sa počíta iba v prípade využitia vyhadzovača pri procese a zároveň musí pôsobiť jeho sila proti

pôsobiacej sile stroja. Jej veľkosť v prípade použitia pružinového vyhadzovača sa stanoví nasledovne:

$$F_v = k_v \cdot x_s \text{ [N]}, \quad (2.47)$$

kde:  $k$  – tuhosť pružiny [N/mm],  
 $x_s$  – stlačenie pružiny [mm].

Celková ťažná sila potrebná na vykonanie jedného ťahu sa potom vypočíta ako súčet všetkých troch zložiek v prípade, že použitý vyhadzovač s pridržívačom budú súčasťou konštrukcie nástroja a ich funkcia bude vykonávaná pohybom barana:

$$F_{tc} = F_t + F_v + F_p \text{ [N]}. \quad (2.48)$$

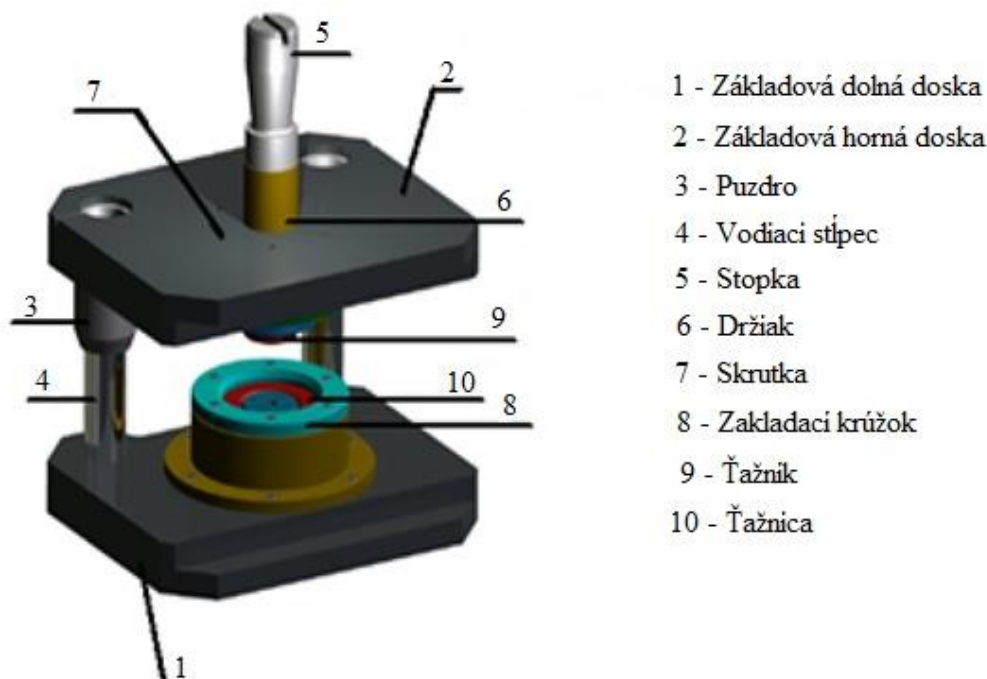
Okrem potrebnej sily je potrebné vedieť aj veľkosť práce vykonanej pri výrobe. Ťažná práca je priamo úmerná ťažnej sile a vyjadruje obsah plochy pod krivkou sily (na obrázku 27 je vyznačená šrafovaním). Vzťah pre výpočet práce:

$$A_t = \frac{F_{tc} \cdot C_t \cdot h}{1000} \text{ [J]}, \quad (2.49)$$

kde:  $C_t$  – koeficient ťažnej práce (0,66 – bez kalibrácie, 0,8 – pri kalibrácii) [-].

## 2.4 Nástroje [1], [2], [3], [4], [5], [27], [29], [30]

Konštrukcia ťažných nástrojov sa hlavne odvíja od výťazku. Jeho najdôležitejšie parametre sú rozmery, tvar, poradie operácie a použitý materiál. O niečo menej podstatným parametrom je veľkosť výrobnej série. Okrem samotného výťazku má vplyv na konštrukciu nástroja aj typ lisu, pre ktorý je nástroj konštruovaný a tvar vstupujúceho polotovaru (môže byť použitý prístrih alebo pás plechu či dokonca zvitok plechu). Ďalej by mala konštrukcia spĺňať zásady ekonomické, bezpečnostné, etické, ekologické a technické. Hlavnými funkčnými časťami nástroja sú ťažnica, ťažník a pridržívač. Mnoho častí, ktoré priamo neprichádzajú do kontaktu s polotovarom, sa používa normalizovaných. Výhoda je v menšej cene a v ľahšom vymenení v prípade poškodenia oproti špeciálne vyrábaným častiam nástroja. Ukážka jednoduchého modelu ťažného nástroja je na obrázku 28.



Obr. 28 Příklad ťažného nástroja [1].

Kostrou celého nástroja je oceľový alebo liatinový stojan. Tvoria ho horná '1' a dolná '2' základová doska, prípadne vedenie, ktorým sú tieto dosky spojené. Dolná základová doska je pripevnená k stolu lisu pomocou skrutiek. Z jej vrchnej strany je k nej pripevnená ťažnica '10'. Na ťažnici je pripevnený skrutkami zakladací krúžok '8'. Jeho funkciou je vystredenie a zachovanie správnej polohy prístrihu pred ťahaním. Horná doska slúži na prichytenie ťažníku '9' zo spodnej strany, prípadne pridržiavača. Na jej vrchnú stranu je pripevnená stopka '5'. Tá má funkciu prepojenie nástroja s baranom lisu. To znamená, že vďaka tomuto spojeniu sa pohybuje horná časť nástroja, a tým je nástroj schopný vykonávať svoju funkciu. Keďže stopka prenáša silu od barana, tak je nutné aby bola pripevnená v ťažisku nástroja, aby neprišlo k momentovému náklonu. Vedenie tvoria vodiace stĺpce '4' s puzdrami '3'. Puzdra sú nalisované do základových dosiek a vďaka nim sa následne môže horná základová doska pohybovať po vodiacom stĺpci. Ich počet môže byť dva alebo štyri, a môžu byť buď valivé alebo sklzné. Ich funkciou je vycentrovanie hornej a dolnej polovice nástroja. Ťažné nástroje možno deliť podľa viacerých kritérií. Podľa druhu a počtu operácií na:

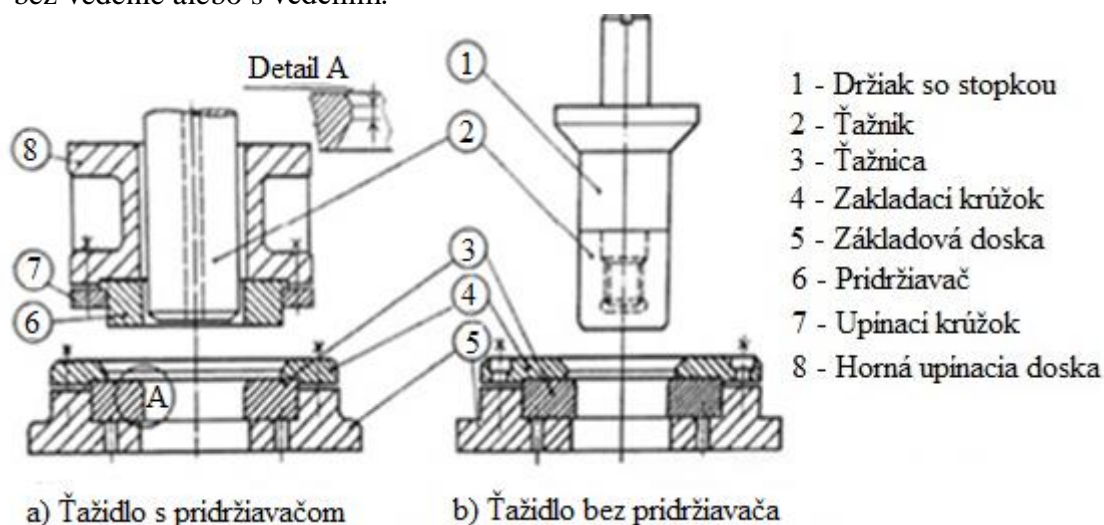
- jednoduché – jedno operačné, nástroj slúži na vykonanie len jednej operácie,
- postupové – operácie nasledujú postupne za sebou,
- zlúčené – zhotovenie výrobku vytvoreným niekoľkými operáciami tej istej technológie v jednom nástroji na jeden zdvih (napr. ťahanie výťažku na tri operácie prevedené v jednom nástroji),
- združené – podobné ako zlúčené, ale vyskytujú sa minimálne dve technológie (napr. strihanie + ťahanie).

Podľa spôsobu vkladania a vyberania polotovaru na:

- nástroje s voľným, ručným vkladáním,
- mechanizované,
- čiastočne alebo plno automatizované.

Podľa použitých pomocných zariadení:

- bez pridržiavača alebo s pridržiavačom,
- bez vyhadzovača alebo s vyhadzovačom,
- bez vedenie alebo s vedením.



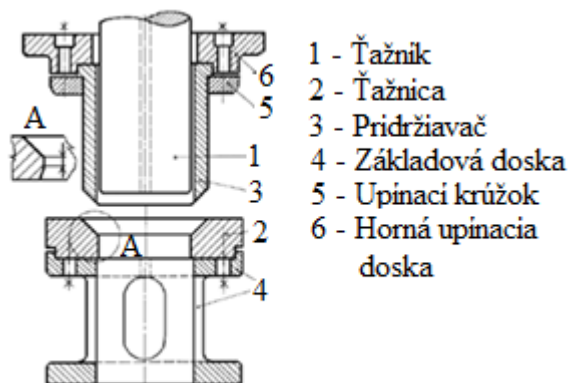
Obr. 29 Ťažidlá pre prvý ťah [3].

Najdôležitejším delením, špeciálne pri ťahaní, je rozdelenie nástrojov podľa poradia operácie, pretože konštrukcia u prvého ťahu v porovnaní s ďalšími je rozdielna. Na obrázku 29 je znázornené ťažidlo pre prvý ťah, pri ktorom je možné prevedenie s pridržiavačom a bez neho. Ťažidlo pre druhý a ďalšie ťahy je zobrazené na obrázku 30. Pri ich porovnaní je



rozdiel medzi nimi značný, je to hlavne v tvare a usporiadaní pridržiavača a ťažnej hrany. Pri ťažidle pre ďalšie ťahy je pridržiavač zošíkmený väčšinou pod určitým uhlom a ťažnica resp. ťažná hrana je kužeľového tvaru, aby do nej zapadol pridržiavač. Ďalším rozdielom oproti ťažidlu pre prvý ťah je vo výške základovej dosky. V tomto prípade je vyššia, pretože sa predpokladá zvyšovanie výšky výťazku v ďalších ťahoch.

Kritéria výberu materiálu pre jednotlivé časti sú trvanlivosť, výkonnosť, spoľahlivosť a počiatočné náklady. Hlavné funkčné časti nástroja sú vyrábané z nástrojových ocelí. Príklady materiálov pre jednotlivé časti ťaždila sú v tabuľke 8.



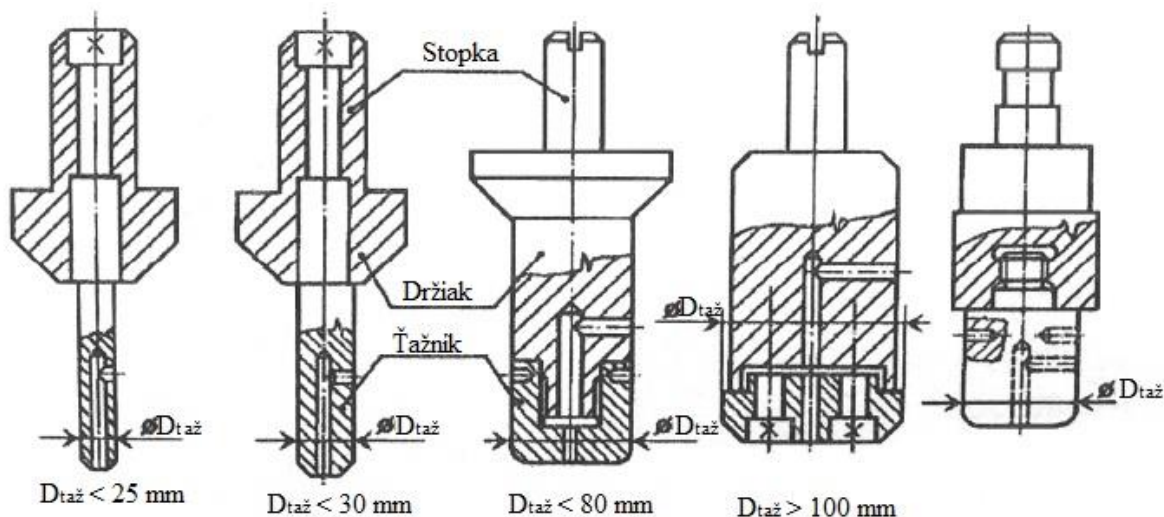
Obr. 30 Ťažidlo pre ďalšie ťahy [3].

Tab. 8 Materiály používané na nástroje [30].

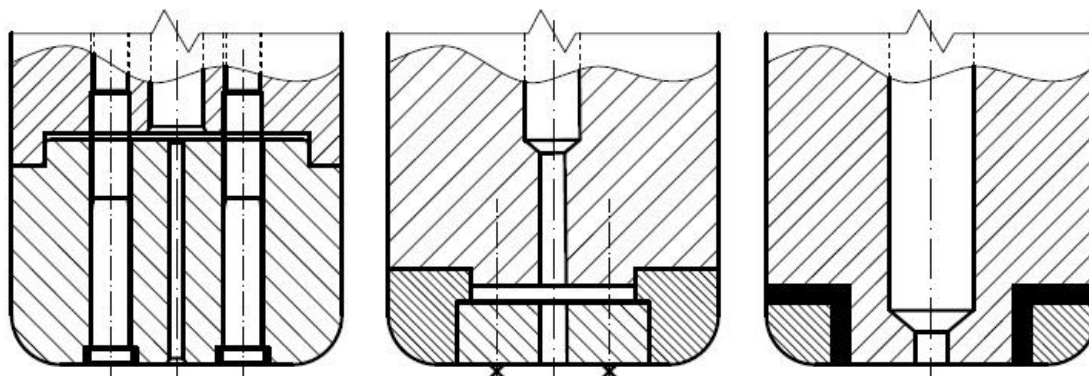
Časť nástroja	Materiál
Vodiace stojany – dosky, stĺpce, puzdra	42 2456, 42 2661, 11 500, 12 061, 14 220
Stopky	11 600
Pružiny	12 060, 12 090, 14 260
Úpinky	11 500
Stierače	12 061, 19 191
Ťažník, ťažnica	19 191, 19 436, 12 061, 42 2456
Zakladacie krúžky	11 600
Pridržiavač	19 191, 19 436, 42 2456

#### 2.4.1 Ťažník [2], [3], [4], [5], [27], [29], [30]

Ťažník patrí medzi aktívne časti nástroja a spôsobuje zmenu tvaru prístrihu na konečný výťazok zasúvaním do ťažnice. Jeho hlavnými funkčnými časťami je čelo, polomer zaoblenia a valcová časť. Jeho vonkajší priemer je zároveň aj vnútorným priemerom výťazku. Počas procesu je namáhaný na vzpier a na obvode valcovej časti radiálnymi silami. Pri malých výťazkoch sú malé aj ťažníky a pri týchto situáciách je možné vyrobiť ťažník z jedného kusu. Ak však sú výťazky veľké, tak sa ťažníky vytvárajú z dvoch kusov a nazývajú sa delené. Robí sa to z toho dôvodu, že ťažník je vyrábaný z drahej nástrojovej ocele a aby bol lacnejší, tak sa časti, ktoré neprichádzajú do kontaktu s výťazkom, nahradia obyčajnou konštrukčnou oceľou. Tejto časti sa hovorí držiak, prípadne držiak so stopkou. Druhy ťažníkov sú zobrazené na obrázku 31. Ťažník je možné spojiť s držiakom rôznymi spôsobmi ako napr. priskrutkovanie ťažníku na držiak alebo naopak, priskrutkovanie skrutkami, nalepenie, prispájkované apod. Rôzne druhy spojenia sú zobrazené na obrázku 32. Pri menších výťazkoch je možné riešenie ťažníka podobné ako pri strižníkoch, to je upnutie priamo do barana stroja. Každý ťažník musí obsahovať odvzdušňovací otvor, ktorý slúži na ľahšie stieranie výťazku z ťažníku. Tento otvor je väčšinou umiestnený do osi ťažníku a jeho priemer je napr. 5 mm. Materiál na výrobu ťažníka býva nástrojová oceľ napr. 19 191 alebo 19 436.



Obr. 31 Konštrukcia ťažníkov pre rôzne výťahy [3].



Obr. 32 Druhy spojenia ťažníku a držáku [30].

Veľkosť polomeru zaoblenia ťažníka  $r_{tv}$  závisí od poradia a typu ťažnej operácie a vychádza z polomeru ťažnej hrany ťažnice. Polomer zaoblenia sa buď rovná zaobleniu ťažnej hrany alebo je menší. Ďalej je nutné rozdeľovať medzi ťahom, ktorý zhotoví výsledný tvar a obyčajným medziťahom. Pokiaľ sa jedná o medziťah, ktorý nevytvára konečný tvar, tak sa väčšinou používa iba skosenie s uhlom  $35^\circ - 45^\circ$ . Pre ťah, ktorý vytvára konečný tvar (väčšinou sa jedná o poslednú ťažnú operáciu, ale môže sa stať, že aj v prechádzajúcom ťahu sa tvorí koncový tvar – napr. ako v riešenej súčiastke) sa polomer zaoblenia rovná vnútornému polomeru vo výťazku. Pokiaľ je tento polomer menší ako uvedené minimálne hodnoty v tabuľke 9, tak je nutné urobiť kalibračnú operáciu. Pri tejto operácii sa znižuje zaoblenie dna výťazku, ale priemer ostáva rovnaký.

Tab. 9 Minimálne hodnoty polomeru zaoblenia ťažníku [2].

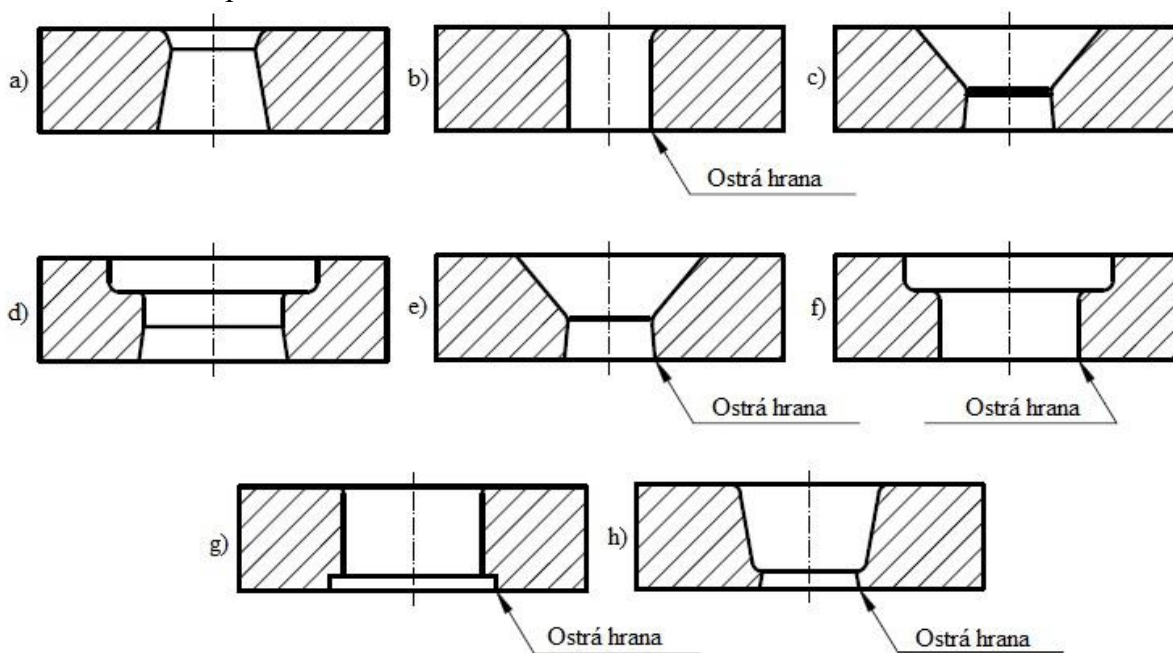
Priemer ťažníku [mm]	10 - 100	100 – 200	200 a viac
Polomer zaoblenia [mm]	$(3 \text{ až } 4) \cdot s_0$	$(4 \text{ až } 5) \cdot s_0$	$(5 \text{ až } 7) \cdot s_0$

#### 2.4.2 Ťažnica [2], [3], [4], [5], [26], [28], [29]

Ťažnica podobne ako ťažník patrí medzi hlavné aktívne časti ťažidla. Rozdiel oproti ťažníku je, že sa nepohybuje. Pre kruhové výťahy má prstencovitý tvar. Vo všeobecnosti jej tvar závisí hlavne na tvare a rozmeroch polotovaru a hotového výťazku a na odstránení výťazku z ťažnice. Môžu byť celistvé alebo vložkované. Najdôležitejšou časťou je ťažná hrana funkčného otvoru. Možné druhy otvorov ťažníc sú na obrázku 33 a ich použitie je:

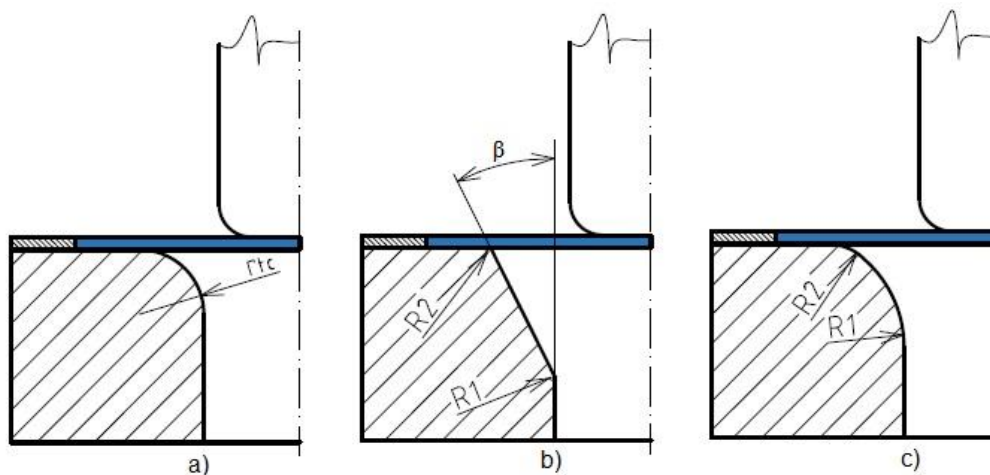
- výťahok sa vracia nad ťažnicu a je zotretý z ťažníka,
- výťahok prepadáva pod ťažnicu a je zotrený buď ostrou hranou alebo stieračom,

- c) ťažnica je určená pre druhý, prípadne ďalšie ťahy, keď sa výtlačok vracia nad ťažnicu,
- d) ťažnica určená pre druhý, prípadne ďalšie ťahy do priemeru 60 mm, keď sa výtlačok vracia nad ťažnicu,
- e) ťažnica je určená pre druhý, prípadne ďalšie ťahy, keď výtlačok prepadá pod ťažnicu,
- f) ťažnica určená pre druhý, prípadne ďalšie ťahy do priemeru 60 mm, keď výtlačok prepadá pod ťažnicu,
- g) ťažnica, ktorá je dole odľahčená,
- h) ťažný otvor má kužeľovitý tvar, pri ktorom výtlačok prepadá pod ťažnicu a je vhodný pre ťahanie bez pridržávača.



Obr. 33 Druhy ťažníc [30].

Ťažná hrana funkčného otvoru zabezpečuje funkciu ťažnice – cez ňu sa vťahuje prístrih do otvoru. Preto je najviac namáhaná a rýchlo sa opotrebováva. To je dôvod používania vložkovaných ťažníc, kde práve ťažná hrana býva vložkovaná. Používajú sa tri rôzne prevedenia ťažnej hrany, ktoré sú zobrazené na obrázku 34 - zaoblená ťažná hrana (a), s kužeľovým prechodom (b) a s prechodom TRAC-TRIX (c). Materiály pre výrobu ťažných hrán sú nástrojové ocele ako u ťažníku, prípadne šedá liatina.



Obr. 34 Druhy ťažných hrán [3].



Veľmi dôležitým parametrom je ťažný polomer. Týmto pojmom sa označuje polomer zaoblenia ťažnej hrany ťažnice. Výrazne ovplyvňuje priebeh procesu. Čím je väčší, tým je priebeh jednoduchší, je možnosť vytiahnuť väčšiu hĺbku výťazku, teda stupeň pretvorenia v jednej operácii sa zväčší. Okrem toho sa znižuje potrebná ťažná sila. Ale zväčšovanie polomeru má aj nevýhodu. Tým, že polomer bude väčší, tak menšia plocha prístrihu bude pod pridržiavačom. To môže spôsobiť zvlnenie polotovaru a tvorbu preložiek v mieste výstupu polotovaru z pod pridržiavača. Preto sa volí hodnota polomeru cestou kompromisu. Určenie jeho veľkosti je možné niekoľkými spôsobmi:

- ❖ polomer zaoblenia pri jedno operačnom ťahaní:

$$r_{tc} = (6 \div 10) \cdot s_0 \text{ [mm]}. \quad (2.50)$$

- ❖ polomer zaoblenia pre prvý ťah pri viac operačnom ťahaní:

$$r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_1)} \cdot s_0 \text{ [mm]}. \quad (2.51)$$

- ❖ polomer zaoblenia pre ďalšie ťahy výťazku s priemerom do 60 mm:

$$r_{tc} = \frac{d_{i-1} - d_i}{2} \cdot s_0 \text{ [mm]}, \quad (2.52)$$

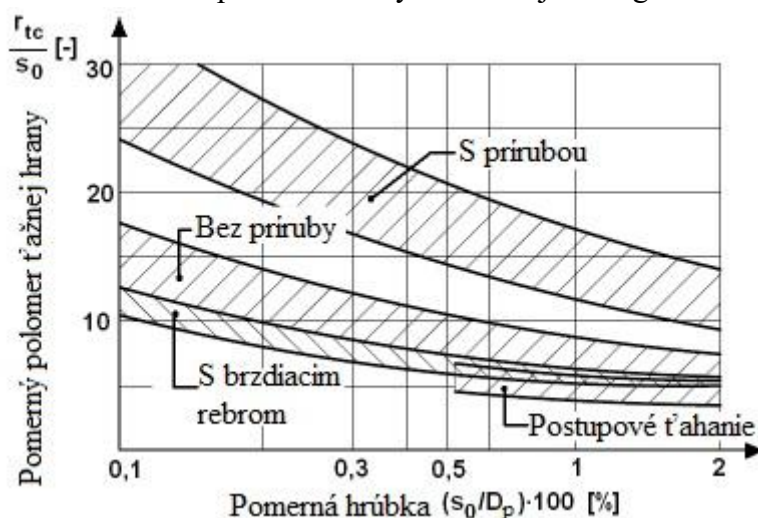
kde:  $d_{i-1}$  – priemer výťazku z predchádzajúcej ťažnej operácií [mm],

$d_i$  – priemer výťazku po tejto ťažnej operácií [mm].

- ❖ polomer zaoblenia pre ďalšie ťahy výťazku s priemerom nad 60 mm:

$$r_{tc} = (6 \div 10) \cdot s_0 \text{ [mm]}. \quad (2.53)$$

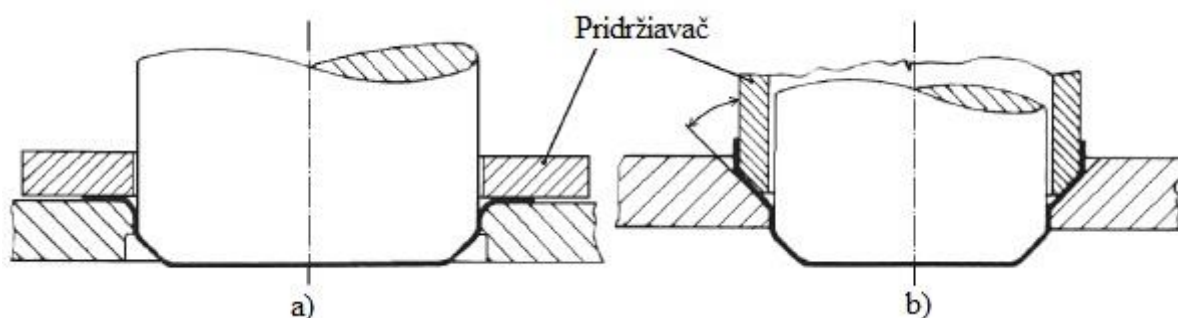
- ❖ určenie polomeru zaoblenia pre rôzne tvary z nasledujúceho grafu:



Obr. 35 Graf na určenie polomeru zaoblenia [3].

### 2.4.3 Pridržiavač [2], [3], [4], [5], [27], [29], [30]

Ďalšou dôležitou časťou je pridržiavač a to hlavne pri hlbokom ťahaní. Jeho funkciu aj prípady kedy sa používa sú popísané v predchádzajúcich kapitolách. Jeho konštrukciu je možno rozdeliť na dva druhy – pridržiavač pre prvý ťah a pre ďalšie ťahy. Rozdiel medzi nimi je v jeho konštrukcii. Pridržiavač pre prvý ťah má rovinný tvar a je zobrazený na obrázku 36a. Pri ďalších ťahoch je pridržiavač skosený pod uhlom 30 ° až 45 ° (obrázok 36b) podobne ako u ťažnice. V prípade špeciálnych tvarov výťazku, je možné prispôbiť pridržiavača k výťazku. Existuje mnoho druhov, ale najčastejšie sa využívajú pružinové, vzduchové, hydraulické alebo mechanické. Pružinové sú najjednoduchšie a sila je daná stlačením pružiny. Nevýhodou je, že sa nedá meniť veľkosť pôsobiacej sily. Pri procesoch, kde je potreba zmena sily, prípadne sila od pružinového je nedostačujúca sa používajú vzduchové alebo hydraulické.



Obr. 36 Konštrukcia pridržiavača [30].

## 2.5 Stroje [1], [5], [20], [27], [30], [31], [32], [33], [34]

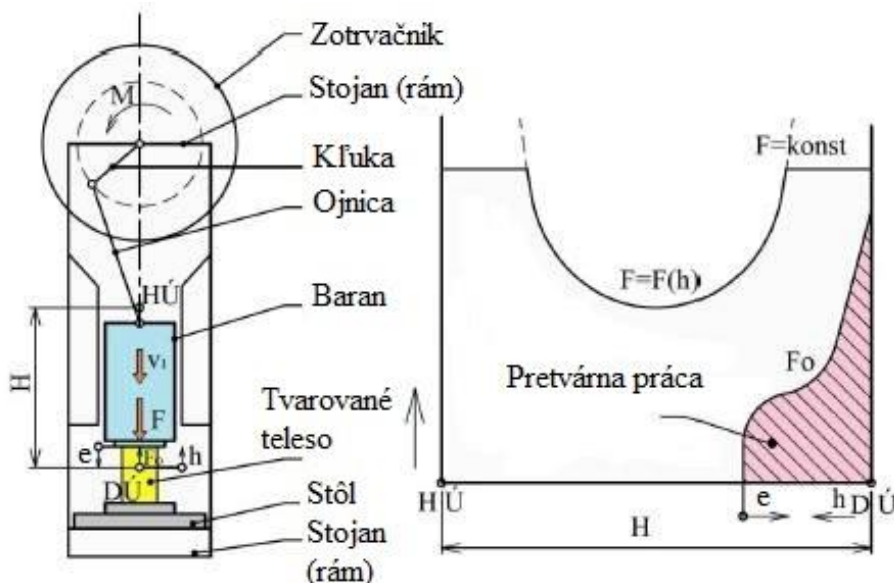
Hlavným parametrom pri výbere vhodného stroja je menovitá sila a práca, ktorou disponuje stroj. Ďalšími dôležitými vlastnosťami pri výbere sú zdvih, zovretie a veľkosť pracovného stola. V praxi existuje veľké množstvo rozličných strojov. Pre technológiu hlbokého ťahania sa využívajú ťažné lisy, kde označenie lis znamená, že daný stroj pôsobí na materiál prevažne ťuhovou silou. Z pohľadu relatívneho pohybu nástroja k polotovaru sa lisy zaraďujú do strojov s priamočiarym pohybom nástroja.

Z konštrukčného hľadiska je možné rozdeliť lisy nasledovne:

- Jednočinné lisy - obsahujú len jeden baran. Preto sa väčšinou používajú na výrobu menších, najvyššie stredných výtlačkov. Tým, že majú len jeden baran, tak v prípade nutnosti pridržiavača je nutné ho zakomponovať do konštrukcie nástroja (napr. pružinový).
- Dvojčinné lisy - oproti jednočinným už obsahujú dva barany. Vnútorň baran zabezpečuje hlavný pohyb nástroja a vykonáva proces ťahania. Vonkajší baran pohybuje pridržiavačom nezávisle na pohybe vnútorného barana. Preto je v tomto prípade možné samostatne ovládať pridržiavač. Po dosadení na prístrih sa pohyb pridržiavača zastaví.
- Trojčinné lisy - sú podobné ako dvojčinné, ale obsahujú ešte tretí baran, ktorý pôsobí opačne ako prvé dva a pohybuje sa proti ich pohybu. Tento typ lisov sa využíva pri veľmi zložitých výtlačkoch ako sú napr. v automobilovom priemysle.

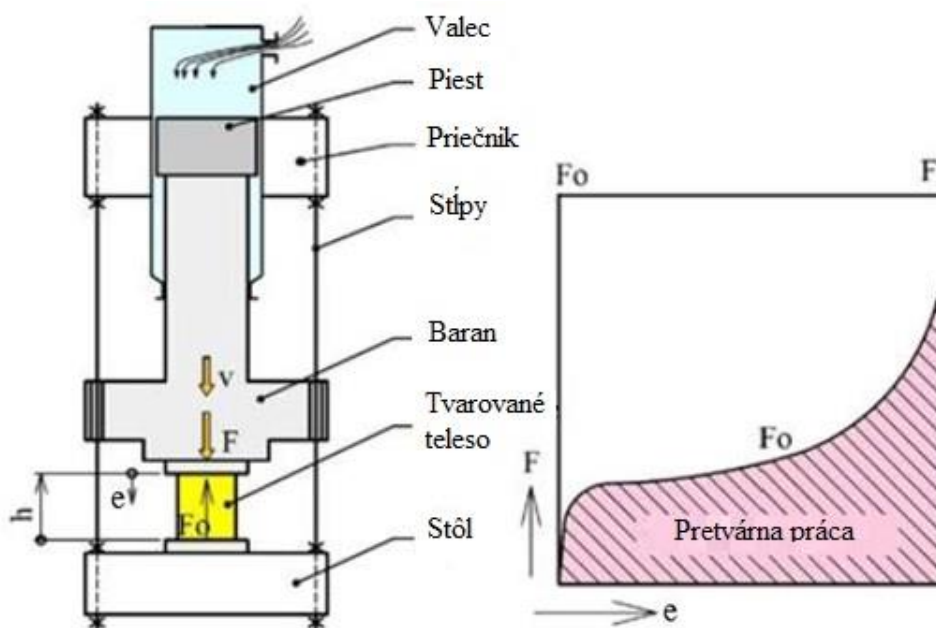
Z pohľadu mechanizmu prenosu energie sa pre hlboké ťahanie využívajú 2 typy lisov:

- ❖ Mechanické lisy - patria medzi zdvihové tvárniace stroje. To znamená, že na prekonanie deformačného odporu materiálu polotovaru využíva obe základné formy energie – potenciálnu aj kinetickú. Najpoužívanejším mechanizmom pri mechanických lisoch je ťukový. Schéma takéhoto lisu a priebeh sily je znázornený na obrázku 37. Jeho základné parametre sú menovitá sila a dráha, na ktorej môže táto sila pôsobiť. Pre pracovný zdvih je možné využiť maximálne štvrtinu otáčky ťukového hriadeľa. Medzi výhody patrí veľká výrobnosť, pomerná jednoduchosť strojov. Medzi nevýhody patrí, že maximálna sila stroja sa nachádza tesne nad dolnou úvratou, s tým súvisí problém tvárnenia väčšou silou po dlhšej dráhe a nerovnomerná rýchlosť. Problémom bývalo aj preťaženie stroja a s tým súvisiace jeho poškodenie. Toto sa odstránilo používaním rôznych poistiek.



Obr. 37 Schéma klukového lisu a priebeh jeho sily [1].

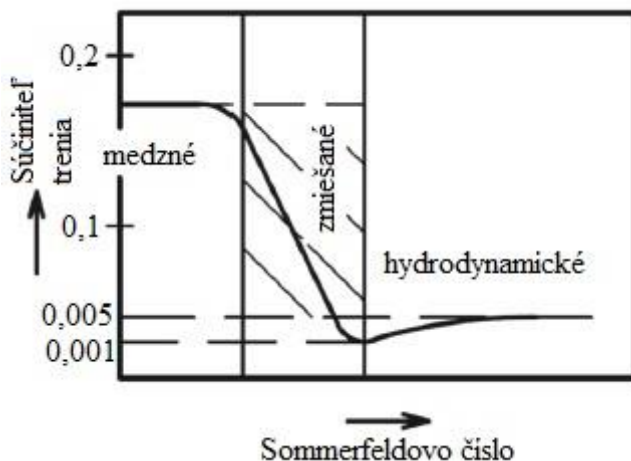
- ❖ Hydraulické lisy patria medzi silové tvárniace stroje. Jeho schéma a priebeh sily sú zobrazené na obrázku 38. Na rozdiel od mechanických využívajú na proces tvárnenia prevažne iba potenciálnu energiu, kde základným parametrom je menovitá sila, ktorú je možné odobrať v ktoromkoľvek mieste zdvihu (v aktuálnej pozícii) a jej veľkosť je počas procesu nominálna a rýchlosť klesania je možné regulovať v rozmedzí do  $0,25 \text{ m.s}^{-1}$ . Princíp hydraulického lisu využíva Pascalov zákon, ktorý hovorí o rovnomernom šírení tlaku vo všetkých smeroch v kvapaline. Výhody oproti mechanickému lisu je veľkosť pracovného zdvihu, ľubovoľné nastaviteľná z celkového zdvihu barana, možnosť nastavenia rýchlosti, možnosť jej plynulej regulácie, možnosť docielenia konštantného tlaku a konštantnej rýchlosti, možnosť mechanizácie a automatizácie. Nájdu sa aj nevýhody oproti mechanickým lisom ako napr. väčšia zložitosť konštrukcie pohonu, horšia účinnosť, pomalší chod barana  $\Rightarrow$  menšia výrobnosť, ťažšie zistenie porúch, zložitejšia údržba, väčšie počiatkové náklady pri rovnakej menovitej sile až o 30 %.



Obr. 38 Schéma hydraulického lisu a priebeh jeho sily [1].

## 2.6 Mazanie [2], [4], [5], [18], [27], [35]

Hlavnou úlohou maziva je zmenšenie účinku trenia. Trenie je definované ako odpor proti pohybu dvoch dotýkajúcich sa telies. Rozdeľuje sa na štyri rôzne druhy. Najhoršie je suché, ďalej medzné, zmiešané a najlepšie je hydrodynamické. Na obrázku 39 je znázornená závislosť súčiniteľa trenia na Sommerfeldovom čísle a graf je rozdelený na tri základné typy trenia. Pri tvárnení za studena sa vyskytuje zmiešané trenie. Je to kombinácia medzného a hydrodynamického trenia. Hodnota súčiniteľa trenia sa pohybuje v intervale od 0,2 po 0,04. Trenie sa môže uplatňovať pasívnym alebo aktívnym spôsobom. Pri pasívnom spôsobe pôsobí trecia sila proti pôsobiacej sile, čím sa zvyšuje pretvárná sila. Naopak pri aktívnom spôsobe pôsobí v smere pôsobiacej sily, čím ju znižuje. Tohto poznatku je možné využiť aj pri hlbokom ťahaní. Medzi ťažnicou a polotovarom vzniká pasívne trenie, a preto je nutné túto plochu mazať, aby sa trecia sila znížila. Taktiež medzi pridržiavačom a prístrihom je potreba mazania. Ale medzi ťažníkom a polotovarom je to naopak a mazivo by sa nemalo používať.



Obr. 39 Striebeckov diagram [4].

Okrem zmenšenia trenia, a tým zmenšenia trecej sily má mazivo aj ďalšie úlohy. Sú to zamedziť studeným zvarom, predĺžiť trvanlivosť nástrojov a zabezpečiť požadované tolerancie a kvalitu výťažku.

Hlavné vlastnosti maziva sú vytvárať súdržné mazacie filmy s vyhovujúcim koeficientom trenia, nekorozičnosť, chladiaci účinok, ovplyvnenie toku materiálu, nezafarbovať dotykové povrchy kovov, nevytvárať lepiace povrchy, byť teplotne stále, ekologické, fyziologicky nezávadné a jednoducho odstrániteľné z povrchu kovu.

Mazivo sa musí naniesť takým spôsobom, aby pritom nedošlo k poškrabaniu alebo poškodeniu nástroja. Po nanosení musí tvoriť súvislú rovnomernú vrstvu medzi materiálom a nástrojom, ktorá bráni ich kontaktu. Hlavné druhy maziva sú oleje (minerálne, syntetické), maziva na bázy mydiel, pevné mazivá a vodné emulzie. Ďalším rozdelením sú mazivá s prísadami a bez prísad. Najlepšie vlastnosti vykazujú aditíva na báze chlóru, ale vzhľadom na jeho zložitú likvidáciu z ekologického pohľadu a nebezpečenstvu poškodenia zdravia je momentálne zakázaný. Namiesto neho sa ako prísady využívajú aditíva na bázy fosforu alebo síry, prípadné tuhé mazivá – grafit,  $\text{MoS}_2$ . Pri hlbokom ťahaní sa využívajú ropné cyklické oleje čisté alebo s prísadou, rastlinné oleje (najčastejšie repkový olej), živočíšne oleje a tuky, olejové emulzie bežné alebo s prísadami, vodné roztoky sodných alebo draselných mydiel. Medzi novšie mazivá patria oleje na báze rastlinných esterov a polymérov, ktoré majú lepšie vlastnosti oproti klasickým mazacím prostriedkom. Pri ťahaní za tepla sa používajú samotné tuhé mazivá (napr. grafit).

Odstránenie mazivá je možné nasledujúcimi spôsobmi:

- pomocou ultrazvuku,
- elektrolytickým odmasťovaním,
- odmasťovanie za horúca v louhových kúpeľoch,
- odstránenie krátkodobým zahriatím na teplotu medzi 120 až 160°C.

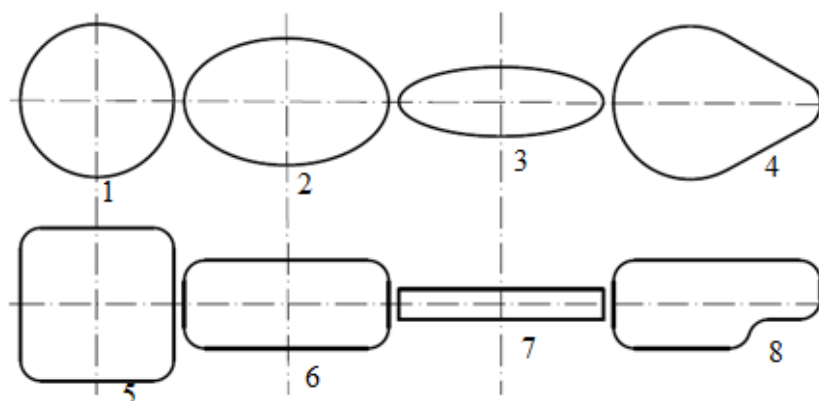
## 2.7 Technologičnost' [4], [5], [18], [25], [26], [36]

Technologičnost'ou sa nazýva súbor zásad, ktoré stanovujú, či je daná súčiastka výrobitel'ná danou technológiou a následne jej najvýhodnejšiu výrobu. Technologičnost' je predovšetkým závislá na voľbe materiálu. Hlavne pri veľkých stupňoch pretvorenia a viacerých ťahoch. Preto sa využíva hlbokoťažná ukladnená ocel', ktorá je vhodná pre výrobu ťahaním. Ukladnená sa používa z toho dôvodu, aby nedochádzal k degradácii mechanických vlastností v prípade skladovania alebo dlhších časových intervaloch medzi jednotlivými ťahmi. Stupeň presnosti, ktorý je možný dosiahnuť hlbokým ťahaním je IT11 až IT12, pri kalibrácii IT7 až IT8. Technologičnost' konštrukcie je obmedzená niektorými nedokonalosťami:

- aj keď sa jedná o výrobu bez stenčenia steny, tak dochádza k jej menšej zmene (najmenšia hrúbka je prechod dno – plášť, najväčšia na okraji prístrihu), pri vysokých stupňoch pretvorenia je to maximálne 20 – 30 % zmena oproti pôvodnej hrúbke,
- plášť výťazku býva mierne kužeľovitý ( $1^\circ$  až  $3^\circ$ ), čo spôsobuje ťažná medzera a odpruženie, ktoré spôsobuje elastická deformácia materiálu,
- polomery v prechodoch z dna do plášťa a z plášťa do príruby musia byť prispôsobené ťahaníu
- okraj výťazku treba odstrániť z dôvodu jeho nerovnosti spôsobenej rozličnou hrúbkou plechu a pridrzaním okrajov a anizotropií mechanických vlastností,
- zdrsnenie povrchu plechu v oblasti veľkých pretvorení, spevnenie materiálu – najväčšie spravidla na okraji výťazku

Tieto konštrukčné nedokonalosti je možné odstrániť napr. jemnejším stupňovaním ťahov kalibrovaním. Avšak toto riešenie je veľmi nákladné, a preto sa viac využívajú nasledujúce riešenia, ak to dovoľuje funkcia a konštrukcia súčiastky:

- ✓ ak je to možné, tak nepredpisovať toleranciu stien výťazku, prípadne zväčšiť hrúbku plechu,
- ✓ nezvyšovať výťazok, pretože aj malá zmena výšky môže spôsobiť zvýšenie ťahov, a tým nutnosť potreby ďalšieho nástroja, prípadne aj medzioperačné žihanie,
- ✓ nezväčšovať zbytočné prírubu, ale treba dodržať jej minimálnu šírku,
- ✓ zaoblenia prechodov nezmenšovať pod minimálnu prípustnú hodnotu,
- ✓ presnosť rozmerov závisí na kvalite práce v lisovni, nástrojov a dodržania postupov,
- ✓ ak je požadovaná väčšia presnosť, tak je nutné pridať ďalší ťah tzv. rovnanie alebo kalibrovanie výťazku alebo len jeho časti,
- ✓ výťazky vytvorené viacerými ťahmi sú presnejšie, pretože sa znižuje deformácia odpružením, ktorá je najväčšia pri prvom ťahu,
- ✓ najvhodnejší tvar výťazku sú valce s dnom kolmým k jeho ose a bez príruby, čím zložitejší výťazok, vid' obrázok 40, tým viac ťahov je treba.



Obr. 40 Príklady tvarov výťazku [26].

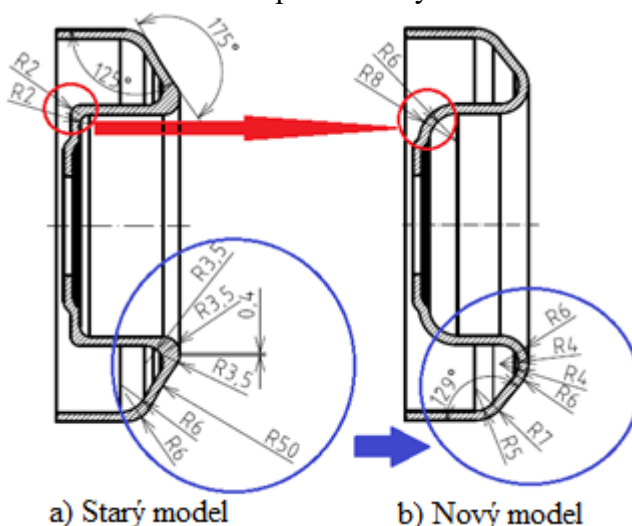


### 3 NÁVRH VÝROBY

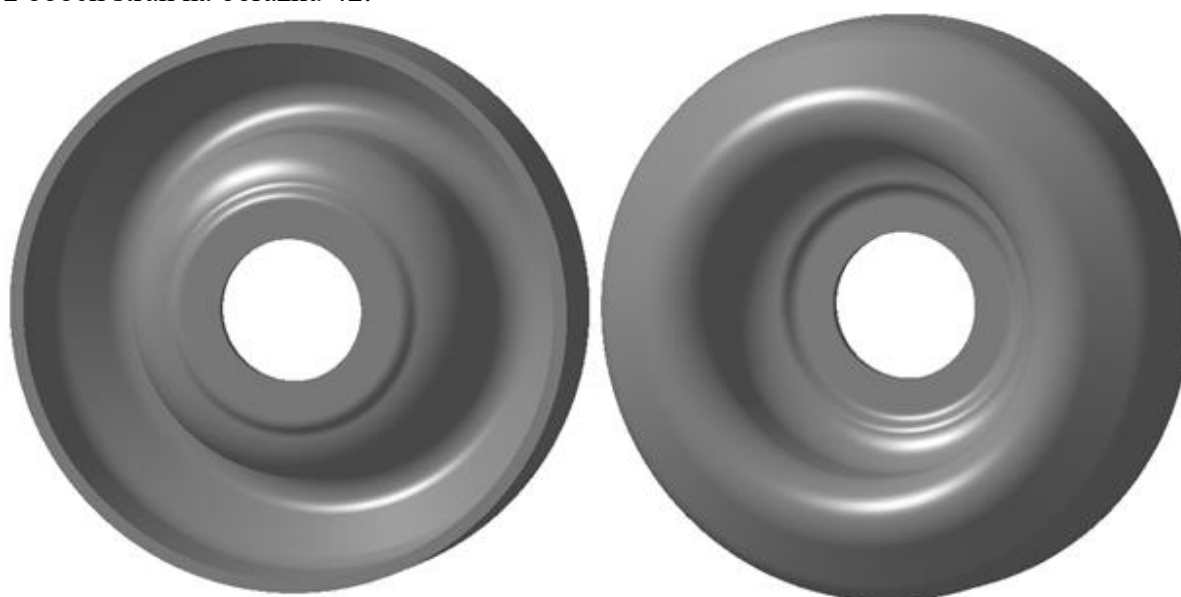
Riešenou súčiastkou je víčko. Jedná sa o súčiastku, ktorá má rotačný, symetrický tvar bez príruby. Jeho najväčšie rozmery sú priemer 83 mm a výška 26 mm. Hrúbka použitého polotovaru je 2 mm. Veľkosť výrobnej série je 25 000 ks/rok. Materiál použitý na výrobu víčka je hlbokotlačná oceľ DC04

Navrhnutý tvar s ohľadom na technológičnosť nevyhovuje v dvoch bodoch, preto po konzultácii s konštruktérom sa zmenila konštrukcia víčka v problémových miestach. Na

obrázku 41 je zobrazený starý a nový návrh víčka. V červenom krúžku na obrázku je vyznačená prvá problémová oblasť - polomer zaoblenia medzi plášťom a dnom víčka. V prvom návrhu je R2, ale hrúbka polotovaru je 2 mm, čo znamená, že minimálny polomer ťažníka je 6 mm. Tento problém je možné odstrániť kalibrovaním, kde by bolo možné zachovať hodnotu R2, alebo ju zmeniť na minimálny polomer ťažníku. Nakoľko by to pri prvej možnosti bola operácia navyše (čím by sa navýšili náklady na výrobu) a pri druhej možnosti sa nijako neovplyvní funkcia víčka, tak je výhodnejšie zmeniť polomer. Druhá zmena (vyznačená na obrázku 41 modrým krúžkom) nie je ani tak z pohľadu technológičnosti, ako skôr z pohľadu konštrukcie a jednoduchšej výroby. V pôvodnom návrhu sa v oblasti zakrúžkovanej modrým krúžkom nachádza mnoho rôznych polomerov a niekoľko rovných, a šikmých plôch. V upravenom návrhu sa to nahradilo jedným polomerom a jednou šikmou hranou, čo spôsobí oveľa jednoduchšiu výrobu a z pohľadu funkčnosti súčiastky nedôjde k žiadnemu obmedzeniu. Na obrázku 41b je teda znázornený 2D pohľad nového modelu víčka, ostatné rozmery sa nachádzajú vo výkrese 2018-DP-161089-0SN. Jeho 3D model je zobrazený z oboch strán na obrázku 42.



Obr. 41 Zmena v návrhu víčka.



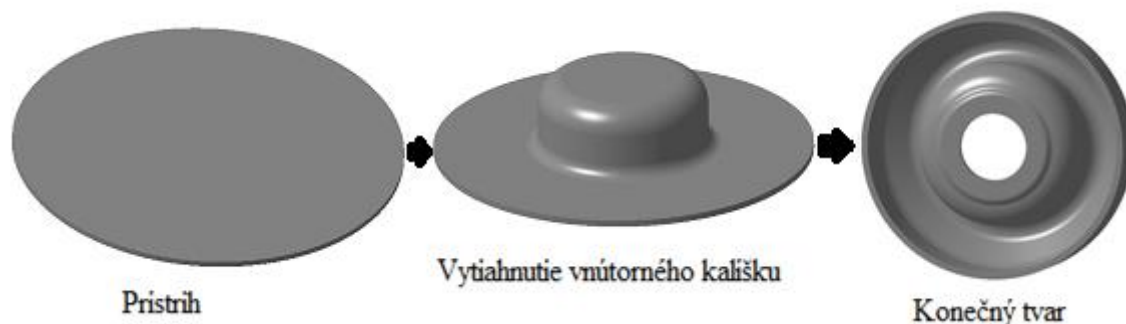
Predná (vonkajšia) strana víčka

Zadná (vnútorná) strana víčka

Obr. 42 3D model nového návrhu víčka.

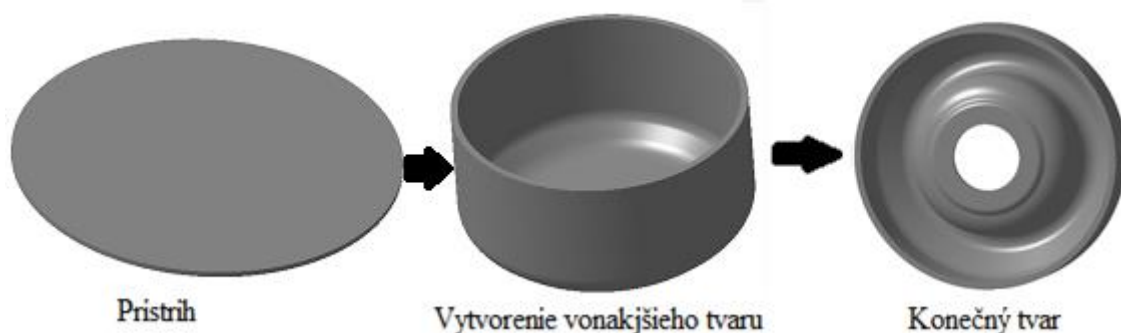
Tvar víčka nepatří medzi jednoduché a jeho konečnú podobu je možné dosiahnúť dvomi postupmi:

- Prvý postup – najskôr sa zhotoví prístrih z plechu o požadovanom priemere. Následne sa z neho bude ťahať stredný kalíšok na jednu alebo viac operácií. V poslednom kroku sa vytvorí konečný tvar súčiastky, prelis stredného kalíška a vystrihnutie otvoru pre osku. Postup je znázronený na obrázku 43.



Obr. 43 Prvý postup výroby.

- Druhý postup – takisto ako pri prvom, tak aj teraz sa musí zhotoviť požadovaný prístrih. Ale narozdiel od prvej možnosti sa teraz najskôr zhotoví vonkajší tvar a až potom sa bude vytvárať stredný kalíšok s prelisom a vystrihnutým otvorom. Postup je znázronený na obrázku 44.



Obr. 44 Druhý postup výroby.

Z navrhnutých spôsobov výroby víčka bude použitý prvý postup, pre ktorý budú vykonané potrebné výpočty a zhotovený návrh nástrojov. Dôvod výberu tohto postupu je logickejšia úvaha, kedy sa bude ťahať od stredu smerom k okraju oproti druhej možnosti, kedy sa ťahá od kraja po stred. Ďalším dôvodom je zložitosť nástrojov, kde pri prvej možnosti pri vytvorení kalíška budú pomerne jednoduché a až koncový bude zložitý. Pri druhej možnosti by bolo o niečo zložitejšie vytvorenie vonkajšieho tvaru a následne pri tvorbe stredového kalíška by boli zložité nástroje.

### 3.1 Veľkosť prístrihu, počet operácií

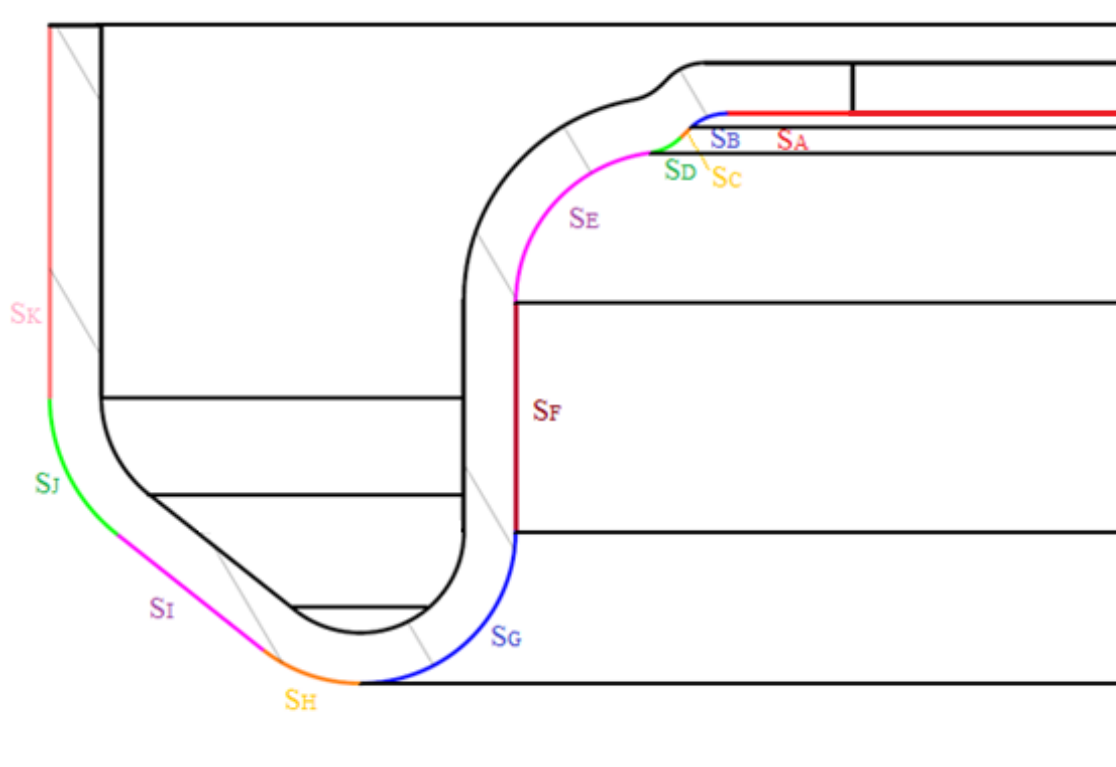
Veľkosť prístrihu je veľmi podstatný údaj, pretože na jeho hodnotu nadväzujú ďalšie výpočty. Je ho možné určiť viacerými spôsobmi, v práci sa využijú tri spôsoby výpočtu:

- Výpočet zo zákona zachovania objemu (zákonu stálosti plôch) - plocha víčka sa rozdelí na jednoduchšie plochy (obrázok 45) a vypočítajú sa obsahy týchto častí. Potom sa sčítaním týchto jednoduchších plôšok dostane výsledná hodnota, ktorá sa rovná obsahu prístrihu. Výpočet jednotlivých častí:

➤ Obsah plochy dna 'S<sub>A</sub>':

$$S_A = \frac{\pi \cdot d_A^2}{4} = \frac{\pi \cdot 30,69^2}{4} = 739,7 \text{ mm}^2, \quad (3.1)$$

kde: d<sub>A</sub> – priemer dna [mm].



Obr. 45 Rozdelenie víčka na jednoduchšie plôšky.

- Obsah zaoblenia medzi dnom a šikmou hranou odľahčenia 'S<sub>B</sub>':

$$S_B = \pi \cdot \left[ (d_B - 2 \cdot r_B) \cdot f_B + 2 \cdot r_B \cdot h_B \right] =$$

$$= \pi \cdot \left[ (33,51 - 2 \cdot 2) \cdot 1,53 + 2 \cdot 2 \cdot 0,59 \right] = 149,3 \text{ mm}^2, \quad (3.2)$$

kde:  $d_B$  – priemer konca oblúku [mm],  
 $f_B$  – priečna dĺžka oblúku [mm],  
 $r_B$  – polomer zaoblenia [mm],  
 $h_B$  – výška oblúku [mm].

- Obsah šikmej hrany odľahčenia 'S<sub>C</sub>':

$$S_C = \frac{\pi}{2} \cdot f_C \cdot (d_B + d_C) = \frac{\pi}{2} \cdot 0,56 \cdot (33,51 + 34,31) = 59,7 \text{ mm}^2, \quad (3.3)$$

kde:  $d_C$  – priemer vrchného konca hrany [mm],  
 $f_C$  – dĺžka hrany [mm].

- Obsah zaoblenia medzi šikmou hranou odľahčenia a oblúkom kalíška 'S<sub>D</sub>':

$$S_D = \pi \cdot \left[ (d_C + 2 \cdot r_D) \cdot f_D - 2 \cdot r_D \cdot h_D \right] =$$

$$= \pi \cdot \left[ (34,31 + 2 \cdot 2) \cdot 1,28 - 2 \cdot 2 \cdot 0,57 \right] = 146,9 \text{ mm}^2, \quad (3.4)$$

kde:  $r_D$  – polomer zaoblenia [mm],  
 $f_D$  – priečna dĺžka oblúku [mm],  
 $h_D$  – výška oblúku [mm].

- Obsah zaoblenia kalíška 'S<sub>E</sub>':

$$S_E = \frac{\pi}{2} \cdot \left( \pi \cdot d_E \cdot r_E + 4 \cdot r_E^2 \right) = \frac{\pi}{2} \cdot \left( \pi \cdot 36,6 \cdot 6 + 4 \cdot 6^2 \right) = 1\,309,9 \text{ mm}^2, \quad (3.5)$$

kde:  $d_E$  – priemer začiatku oblúku [mm],  
 $r_E$  – polomer zaoblenia kalíška [mm].



- Obsah pláštěa kalíška 'S<sub>F</sub>':

$$S_F = \pi \cdot d_F \cdot h_F = \pi \cdot 47 \cdot 9 = 1\,328,9 \text{ mm}^2, \quad (3.6)$$

kde: d<sub>F</sub> – priemer pláštěa kalíška [mm],

h<sub>F</sub> – výška pláštěa kalíška [mm].

- Obsah zaoblenia medzi plášťom kalíška a ďalším oblúkom 'S<sub>G</sub>':

$$S_G = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_G \cdot r_G - 4 \cdot r_G^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 59 \cdot 6 - 4 \cdot 6^2) = 1\,520,7 \text{ mm}^2, \quad (3.7)$$

kde: d<sub>G</sub> – priemer horného konca oblúku [mm],

r<sub>G</sub> – polomer zaoblenia [mm].

- Obsah zaoblenia medzi prechádzajúcim oblúkom a šikmou hranou pláštěa výtlačku 'S<sub>H</sub>':

$$\begin{aligned} S_H &= \pi \cdot [(d_H - 2 \cdot r_H) \cdot f_H + 2 \cdot r_H \cdot h_H] = \\ &= \pi \cdot [(66,55 - 2 \cdot 6) \cdot 4,01 + 2 \cdot 6 \cdot 1,34] = 737,7 \text{ mm}^2, \end{aligned} \quad (3.8)$$

kde: d<sub>H</sub> – priemer dolného konca oblúku [mm],

f<sub>H</sub> – priečna dĺžka oblúku [mm],

h<sub>H</sub> – výška oblúku [mm],

r<sub>H</sub> – polomer zaoblenia [mm].

- Obsah šikmej hrany pláštěa 'S<sub>I</sub>':

$$S_I = \frac{\pi}{2} \cdot f_I \cdot (d_H + d_I) = \frac{\pi}{2} \cdot 7,25 \cdot (66,55 + 77,81) = 1\,644 \text{ mm}^2, \quad (3.9)$$

kde: d<sub>I</sub> – väčší priemer šikmej hrany pláštěa výtlačku [mm],

f<sub>I</sub> – dĺžka hrany [mm].

- Obsah zaoblenia prechodu zo šikmej hrany pláštěa do vonkajšej hrany výtlačku 'S<sub>J</sub>':

$$\begin{aligned} S_J &= \pi \cdot [(d_J - 2 \cdot r_J) \cdot f_J + 2 \cdot r_J \cdot h_J] = \\ &= \pi \cdot [(83 - 2 \cdot 7) \cdot 6,03 + 2 \cdot 7 \cdot 5,44] = 1\,546,4 \text{ mm}^2, \end{aligned} \quad (3.10)$$

kde: d<sub>J</sub> – priemer dolného konca oblúku [mm],

f<sub>J</sub> – priečna dĺžka oblúku [mm],

r<sub>J</sub> – polomer zaoblenia [mm],

h<sub>J</sub> – výška oblúku [mm].

- Obsah vonkajšej hrany výtlačku 'S<sub>K</sub>':

$$S_K = \pi \cdot d_J \cdot h_K = \pi \cdot 83 \cdot 14,66 = 3\,822,6 \text{ mm}^2 \quad (3.11)$$

kde: h<sub>K</sub> – výška vonkajšej hrany výtlačku [mm].

Dosadené hodnoty do vzorcov boli získané z programu CATIA. Po vypočítaní obsahov jednotlivých častí sa všetky sčítajú a následne sa z celkového obsahu zistí priemer prístrihu:

$$S_p = S_A + S_B + S_C + S_D + S_E + S_F + S_G + S_H + S_I + S_J + S_K = \quad (3.12)$$

$$= 739,7 + 149,3 + 59,7 + 146,9 + 1\,309,9 + 1\,328,9 + 1\,520,7 + 737,7 + 1\,644 +$$

$$+ 1\,546,4 + 3\,822,6 = 13\,005,8 \text{ mm}^2 \rightarrow D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13\,005,8}{\pi}} = 128,68 \text{ mm}.$$

Celková plocha výtlačku vyšla 13 005,8 mm<sup>2</sup> a z nej sa vypočítal priemer prístrihu, ktorého hodnota je 128,68 mm. Nakoľko je jeho hodnota v radovo stovkách jednotiek a nie je potrebné požadovať presnosť na desatinné čísla, tak sa výsledok zaokrúhli na 129 mm.

- Výpočet vzorcom - dosadenie priamo do vzorca pre výtťažok bez príruby (2.20):

$$D_p = \sqrt{d_p^2 + 4 \cdot d_p \cdot h} = \sqrt{83^2 + 4 \cdot 83 \cdot 26} = 124,58 \text{ mm}.$$

Priemer kruhového prístrihu v druhej možnosti vyšiel 124,58 mm a jeho hodnota sa zaokrúhli na 125 mm z toho istého dôvodu ako v prvej možnosti.

- Poitaovm programom - výpočet bol prevedeny poitaov program CATIA, v ktorom bol vytvoreny model výtťažku. Po vytvorení modelu je možné z jeho vlastností zistiť objem. Ten vyšiel 24 630 mm<sup>3</sup> a táto hodnota sa podelí hrúbkou polotovaru, čiže hodnotou 2 mm. Tm pádom sa dostane povrch (obsah) konečného výtťažku:

$$S_p = \frac{V_p}{s_0} = \frac{24\,630}{2} = 12\,315 \text{ mm}^2.$$

Ale v programe sa počíta s konečným tvarom, kedy je už prestrihnuty stredovy otvor o priemere 21 mm pre osku. Preto je nutn k vypočítanému obsahu pripočítať obsah diery, čím sa stanoví obsah kruhového prístrihu, z ktorého sa opt dopyta jeho priemer:

$$S_{pc} = S_p + S_{p2} = 12\,315 + 346,4 = 12\,661,4 \text{ mm}^2 \rightarrow D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{pc}}{\pi}} =$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot 12\,661,4}{\pi}} = 126,97 \text{ mm},$$

$$\text{kde: } S_{p2} = \frac{\pi \cdot 21^2}{4} = 346,4 \text{ mm}^2.$$

Veľkosť priemeru v tretej možnosti vyšla 126,97 mm a podobne ako v predchdzajcch prípadoch sa hodnota zaokrúhli na najbližšie veie číslo a teda na 127 mm.

Z výpočtov je vidieť, že medzi hodnotami je pomerne mal odchylka v porovnaní s výsledným priemerom. Rozdiel medzi jednotlivými hodnotami priemeru mohol vzniknúť zaokrúhľovaním hodnôt a dosadzovaním týchto výsledkov do dl výpočtov. Najpresnejou metódou je zistenie priemeru prístrihu pomocou poitaovho programu a s týmto výsledkom sa bude dalej pota.

Počet tanch operácií je veľmi dleity parameter. Pri tejto súčiastke je možné rozdeliť výpočet na dve časti. V prvej časti sa bude zisťovať počet operácií na vytvorenie stredného kalíška a v druhej na vytvorenie konečného vonkajieho tvaru.

Pri tvorbe kalíška sa tah z priemeru 127 mm na vntorny priemer 47 mm (obrazok 46). Najskôr sa zis podľa súčiniteľa tahania pre prv operáciu či je možné zhotoviť kalíšok behom jedného tahu:

$$d_1 = m_1 \cdot D_p = 0,5 \cdot 127 = 63,5 \text{ mm}, \quad (3.13)$$

kde:  $m_1 = 0,5$  [-] – zvolene z tabuľky 3.

Maximlny priemer, aky je možné z prístrihu zhotoviť je 63,5 mm. Vzhľadom nato, že je nutn dostať 47 mm, tak nebude stačiť jedna operácia, ale bude ich potreba viacej. Ich počet sa zis zo vzťahu (2.31):

$$n_1 = 1 + \frac{\ln(d_p) - \ln(m_1 \cdot D_p)}{\ln(m^*)} = 1 + \frac{\ln(47) - \ln(0,5 \cdot 127)}{\ln(0,75)} = 2,05 \text{ tahu},$$

kde:  $m^* = 0,75$  [-] – zvolene z intervalu 0,75 až 0,8.

Z výpočtu vyšlo, že potrebný počet ťahov je 2,05. Nakoľko je jeho hodnota veľmi blízko k dvom ťahom, tak je predpoklad, že je to možné zhotoviť na dva ťahy, pretože sa jedná o hlbokoťažný materiál, ktorý dovoľuje väčšiu redukciu oproti ostatným. Pravdivosť tohto tvrdenia by overila simulácia. To znamená, že pri prvom ťahu sa dosiahne priemer 63 mm a výška kalíška bude 19 mm. Po druhom ťahu sa dosiahne priemeru 47 mm a výška bude 23 mm. Súčinitele ťahania pre jednotlivé operácie a celkový je:

$$m_1 = \frac{d_1}{D_p} = \frac{63}{127} = 0,496 [-].$$

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{47}{63} = 0,746 [-].$$

$$m_c = m_1 \cdot m_2 = 0,496 \cdot 0,746 = 0,37 [-].$$

V druhej časti pri tvorbe vonkajšieho tvaru riešenej súčiastky sa ťahá z priemeru 114 mm na vnútorný priemer 79 mm. Tak, ako v predchádzajúcom prípade, najskôr sa overí či je možné pretvorenie vykonať počas jedného ťahu. Nakoľko sa v tejto časti pretvára príruha, v ktorej sa zatiaľ nediali žiadne zmeny, je možné použiť súčiniteľ ťahania opäť 0,5:

$$d_3 = m_3 \cdot D_R = 0,5 \cdot 114 = 57 \text{ mm.} \quad (3.14)$$

Veľkosť priemeru pri maximálnom pretvorení je 57 mm. Nakoľko je potreba dosiahnuť priemeru 79 mm, tak sa môže skonštatovať, že vytvorenie vonkajšieho tvaru je možné počas jedného ťahu. Súčiniteľ ťahania v tomto prípade bude:

$$m_3 = \frac{d_p}{D_R} = \frac{79}{114} = 0,693 [-].$$

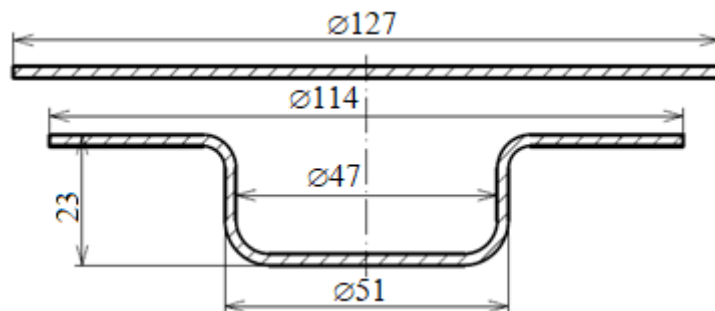
S prihliadnutím na počet ťažných operácií je nutné zvýšiť veľkosť polotovaru z dôvodu nerovností po okraji výťažku. Za prvú časť, pri tvorbe kalíšku, sa zväčší o 4 % (prvý ťah 3 % + druhý ťah 1 %). Čo sa týka druhej časti, tak sa bude pretvárať už materiál, ktorý prešiel zmenou, a tým pádom nie je nutné zväčšovať polotovar, čím sa ušetrí časť materiálu. Konečná hodnota prístrihu polotovaru bude:

$$D_{pp} = 1,04 \cdot D_p = 1,04 \cdot 127 = 132,08 \text{ mm.} \quad (3.15)$$

Konečný priemer po zvýšení o 4 % vyšiel 132,08 mm. Jeho veľkosť sa zaokrúhli na celé číslo, a keďže presahuje hodnotu 132 mm len o 0,08 mm, tak konečná hodnota prístrihu polotovaru bude s prihliadnutím na ušetrenie materiálu 132 mm.

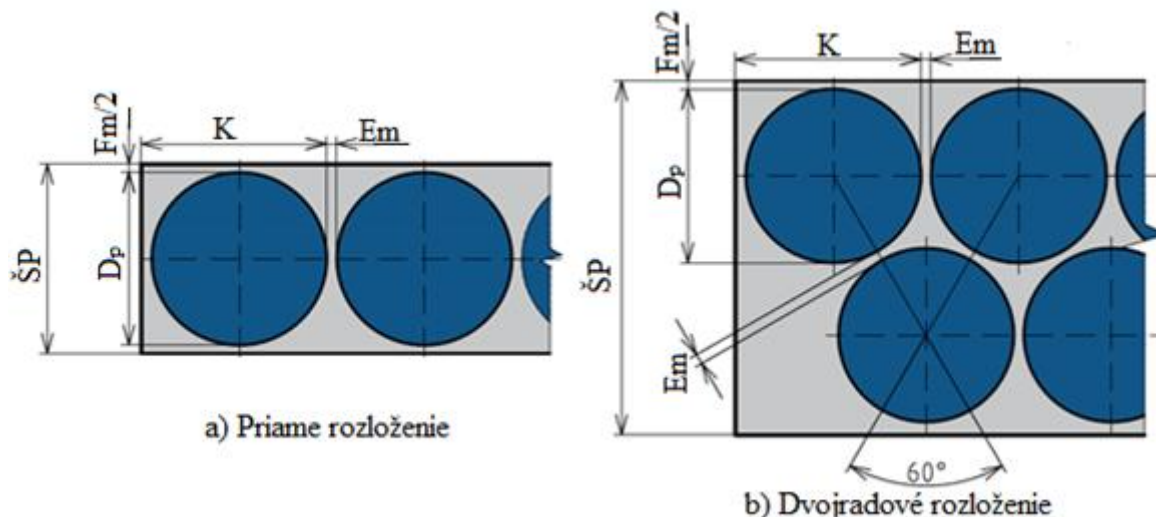
### 3.2 Varianty výroby prístrihu [37]

Z ekonomického pohľadu má výroba prístrihu veľký význam. Medzi najväčšie náklady pri výrobe patria práve náklady na vstupný materiál, preto je snaha o čo najväčšie percentuálne využitie vstupných polotovarov. To sa zaisťuje správnym rozložením výstrižkov na plošnom polotovare z hľadiska technologického a ekonomického. Pri návrhu rozloženia sa vychádza hlavne z tvaru a veľkosti prístrihu, minimálnych vzdialeností medzi jednotlivými výstrižkami a medzi výstrižkami a okrajom polotovaru. Nakoľko je prístrih kruhového tvaru, tak nie je



Obr. 46 Rozmery pred a po vytvorení kalíška.

mnoho rôznych možností jeho uloženia. Najjednoduchším je priame, ďalšie vznikajú vrstvením radov – dvojradové, trojradové, štvorradové a päťradové. Vzhľadom na sériovosť a zvyšujúcu sa cenu nástrojov v závislosti na zvyšujúcom stupni radu sa vo výpočtoch budú porovnávať dve varianty – priame (obrázok 47a) a dvojradové uloženie (obrázok 47b).



Obr. 47 Varianty rozloženia prístrihu.

V oboch prípadoch sú hodnoty veličín znázornených na obrázku 43 rovnaké a vychádzajú z tabuľky v prílohe 4:

Veľkosť vzdialenosti medzi jednotlivými výstrižkami:

$$Em = 3,5 \text{ mm}.$$

Veľkosť vzdialenosti medzi výstrižkom a plošným polotovarom:

$$Fm = 4,5 \text{ mm} \rightarrow \frac{Fm}{2} = \frac{4,5}{2} = 2,25 \text{ mm}.$$

Dĺžka kroku:

$$K = D_{pp} + Em = 132 + 3,5 = 135,5 \text{ mm}. \quad (3.16)$$

Šírka pásu pre priame rozloženie:

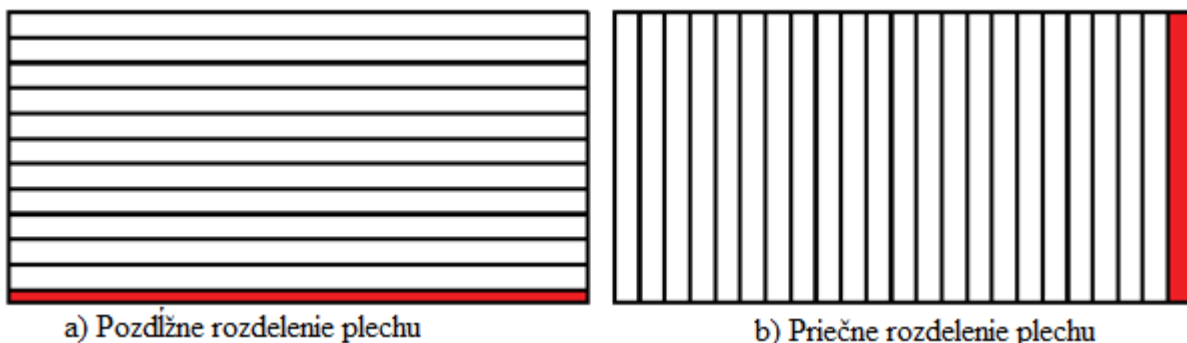
$$ŠP = D_{pp} + Fm = 132 + 4,5 = 136,5 \text{ mm}. \quad (3.17)$$

Šírka pásu pre dvojradové rozloženie:

$$\begin{aligned} ŠP &= 2 \cdot \frac{D_{pp}}{2} + Fm + \sqrt{\left(2 \cdot \frac{D_{pp}}{2} + Em\right)^2 - \left(\frac{D_{pp}}{2} + \frac{Em}{2}\right)^2} = D_{pp} + Fm + \quad (3.18) \\ &+ \sqrt{\left(D_{pp} + Em\right)^2 - \left(\frac{D_{pp}}{2} + \frac{Em}{2}\right)^2} = 132 + 4,5 + \sqrt{(132 + 3,5)^2 - \left(\frac{132}{2} + \frac{3,5}{2}\right)^2} = \\ &= 255 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Prístrih je možné zhotoviť napr. rezaním laserom, vodným lúčom, kotúčovými nožnicami, v strižnom nástroji, atď. Najideálnejšia možnosť je využitie strižného nástroja z dôvodu veľmi rýchlej produkcie prístrihov. Nakoľko je požadovaný priemer pomerne malý, tak ho je možné zhotoviť v strižnom nástroji. Tým pádom polotovarom budú musieť byť pásy plechu, ktoré je možné získať niekoľkými spôsobmi. Prvou možnosťou je použitie zvitka plechu, ktorého šírka sa zhoduje so šírkou pásu a teda je možné si priamo z výroby objednať zvitok o presnej šírke a dĺžke. Pri tejto možnosti býva spravidla najväčšie využitie materiálu, ale pri výrobe je nutné používať rovnacie, odvíjacie a navíjacie zariadenia. Druhou možnosťou je použitie tabúl

plechu, ktoré sa následne rozdelia pozdĺžne alebo priečne, tak ako je to zobrazené na obrázku 48. Rozmery tabúl' plechu, ktoré sa štandardne používajú pre hrúbku 2 mm, sú tri formáty – veľký (3 000 x 1 500 x 2), stredný (2 500 x 1 250 x 2) a malý 2 000 x 1 000 x 2).



a) Pozdĺžne rozdelenie plechu

b) Priečne rozdelenie plechu

Obr. 48 Rozstrihanie plechu.

Sú uvedené ukážkové výpočty pre obe rozloženia na malom formáte plechu a pre zvitok:

➤ Výpočet pre priame rozloženie, rozstrihaný pozdĺžne (obrázok 49):

Plocha jedného dielu:

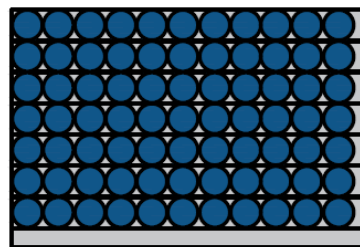
$$S_p = \frac{\pi \cdot D_{pp}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 132^2}{4} = 13\,684,8 \text{ mm}^2. \quad (3.19)$$

Plocha jednej tabule:

$$S_{tab} = 2\,000 \cdot 1\,000 = 2\,000\,000 \text{ mm}^2. \quad (3.20)$$

Počet pásov plechu:

$$p_p = \frac{1\,000}{\check{S}P} = \frac{1\,000}{136,5} = 7,3 \rightarrow \text{volí sa 7 pásov.} \quad (3.21)$$



Obr. 49 Rozloženie prístrihu.

Počet pásov plechu sa zaokrúhli smerom nadol, pretože nie je možné pracovať s pásom, ktorý má menšiu šírku ako je predpísaná.

Počet kusov na pás:

$$p_k = \frac{2\,000}{K} = \frac{2\,000}{135,5} = 14,8 \rightarrow \text{volí sa 14 kusov.} \quad (3.22)$$

Počet kusov na jeden pás plechu sa zaokrúhli smerom nadol, pretože nie je možné vystrihnúť len časť prístrihu.

Počet kusov z jedného plechu:

$$p_v = p_p \cdot p_k = 7 \cdot 14 = 98 \text{ kusov / plech.} \quad (3.23)$$

Počet tabúl' plechu:

$$p_t = \frac{25\,000}{98} = 255,1 \rightarrow \text{volí sa 256 tabúl'.} \quad (3.24)$$

Počet tabúl' plechu sa zaokrúhľuje opačne ako prechádzajúce výpočty. To znamená, že sa zaokrúhli smerom nahor, pretože nie je možné si objednať len časť tabule plechu.

Percentuálne využitie jednej tabule plechu:

$$X_p = \frac{p_v \cdot S_p \cdot 100}{S_{tab}} = \frac{98 \cdot 13\,684,8 \cdot 100}{2\,000\,000} = 67,06 \% . \quad (3.25)$$



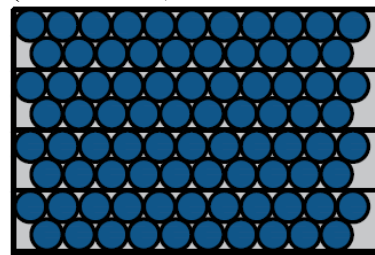
- Výpočet pre dvojradové rozloženie, rozstrihaný pozdĺžne (obrázok 50):

Počet pásov plechu:

$$p_p = \frac{1\,000}{\check{S}P} = \frac{1\,000}{255} = 3,9 \rightarrow \text{volia sa 3 pásy.}$$

Počet kusov na pás:

$$p_k = \frac{2\,000}{K} = \frac{2\,000}{135,5} = 14,8 \rightarrow \text{volí sa 14 kusov.}$$



Obr. 50 Rozloženie prístrihu.

Počet kusov na jeden pás plechu bude v oboch radoch rovnaký, pretože po prepočítaní vyjde v spodnom rade aj hornom rade rovnaký počet kusov – 14ks.

Počet kusov z jedného plechu:

$$p_v = p_p \cdot p_k = 3 \cdot (14 + 14) = 84 \text{ kusov / plech.}$$

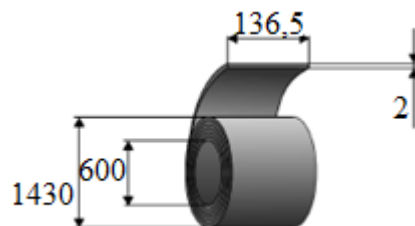
Počet tabúl plechu:

$$p_t = \frac{25\,000}{84} = 297,6 \rightarrow \text{volí sa 298 tabúl'}$$

Percentuálne využitie jednej tabule plechu:

$$X_p = \frac{p_v \cdot S_p \cdot 100}{S_{tab}} = \frac{84 \cdot 13\,684,8 \cdot 100}{2\,000\,000} = 57,48 \%$$

- Výpočet pre priame rozloženie, zvitok o šírke 136,5 mm, vnútornom priemerom 600 mm a vonkajšom priemere 1 430 mm (obrázok 51). Výsledky sa zaokrúhľujú rovnako ako pri predchádzajúcich výpočtoch:



Obr. 51 Zvitok plechu [37].

Dĺžka zvitku:

$$L_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4 \cdot s_0} = \frac{\pi \cdot (1\,430^2 - 600^2)}{4 \cdot 2} = 661\,658,7 \text{ mm.} \quad (3.26)$$

Plocha zvitku:

$$S_{zvit} = 136,5 \cdot L_{sv} = 136,5 \cdot 661\,658,7 = 90\,316\,412,6 \text{ mm}^2. \quad (3.27)$$

Počet kusov z jedného zvitku:

$$p_k = \frac{L_{sv}}{K} = \frac{661\,658,7}{135,5} = 4\,883,1 \rightarrow \text{volí sa 4 883 kusov.} \quad (3.28)$$

Počet zvitkov plechu:

$$p_z = \frac{25\,000}{4\,883} = 5,1 \rightarrow \text{volí sa 6 zvitkov.} \quad (3.29)$$

Percentuálne využitie jedného zvitku plechu:

$$X_p = \frac{p_z \cdot S_p \cdot 100}{S_{zvit}} = \frac{4\,883 \cdot 13\,684,8 \cdot 100}{90\,316\,412,6} = 73,99 \%$$

Výpočty pre iné kombinácie vstupných parametrov ako napr. pre priečne rozdelenie plechu alebo iné formáty plechu, sú analogicky rovnaké ako tie predchádzajúce. Preto nie je potrebné tu vypísať všetky výpočty, ale výsledky všetkých možných kombinácií vstupných parametrov sú zapísané v tabuľke 10.

Tab. 10 Porovnanie výsledkov využitia plechu.

Druh polotovaru	Rozmery polotovaru	Delenie polotovaru	Uloženie prístrihu	Využitie materiálu
Tabuľa plechu	2 000 x 1 000	Pozdĺžne	Priame	67,06 %
			Dvojriadkové	57,48 %
		Priečne	Priame	67,06 %
			Dvojriadkové	62,27 %
Tabuľa plechu	2 500 x 1 250	Pozdĺžne	Priame	70,94 %
			Dvojriadkové	61,31 %
		Priečne	Priame	70,94 %
			Dvojriadkové	67 %
Tabuľa plechu	3 000 x 1 500	Pozdĺžne	Priame	66,9 %
			Dvojriadkové	65,38 %
		Priečne	Priame	70,25 %
			Dvojriadkové	70,25 %
Zvitok plechu	131,5 x 661 685,7		Priame	73,99 %

Z výsledkov v tabuľke 10 je vidieť, že využitie sa pohybuje od hodnoty 57 % až po necelých 74 %. Pre veľkosériovú výrobu je najvhodnejšie použitie zvitku plechu, ale keďže sa vo firme nenachádzajú pomocné prístroje, zariadenia pre prácu so zvitkom a jeho percentuálne využitie nie je výrazne väčšie ako u ostatných možností, tak táto možnosť nie je najvhodnejšia.

Využitie pri dvojradovom rozložení je podobné alebo dokonca menšie ako pri priamom. Vzhľadom nato, že oproti priamemu je nevýhoda v cene a zložitosti nástroja pre vytvorenie prístrihu a manipulácií, kvôli otáčaniu plechu, nebude ani táto varianta použitá.

Ako najvhodnejšia možnosť sa javí varianta s priamym rozložením na tabule plechu. Vo firme sa nachádzajú potrebné stroje - mechanické lisy a tabuľové nožnice. Najlepšie využitie pri priamom uložení je pri strednom formáte, ale porovnateľné využitie je pri veľkom formáte plechu rozdelenom priečne. Výhodou druhej možnosti je, že sa jedná o väčší formát, čo spôsobí, že sa bude pracovať s menším počtom tabúľ, a teda s menším počtom pásov plechu, čím sa docíli kratších výrobných časov. Preto ako východzí polotovár bude použitý veľký formát tabule plechu, ktorý sa následne rozdelí priečne na pásy s priamym uložením prístrihov.

### 3.3 Pridržiavač

Nutnosť využitia pridržiavača sa zistí tromi výpočtami:

- Podľa normy ČSN 22 7301:
  - Prvý ťah - určenie súčiniteľa 'a' podľa vzorca (2.35):

$$a = 50 \cdot \left( y - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_{pp}}} \right) = 50 \cdot \left( 1,9 - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[3]{132}} \right) = 81,11 [-].$$

Potom sa vypočítaná hodnota dosadí do rovnosti (2.36) pre prvý ťah:

$$a > 100 \cdot \frac{d_1}{D_{pp}},$$
$$81,11 > 100 \cdot \frac{63}{132},$$
$$81,11 > 47,73.$$

Podmienka podľa normy ČSN 22 7301 platí, preto je nutné použiť pridržiavač pri prvom ťahu.

- Druhý ťah - dosadenie do podmienky (2.38):

$$\frac{d_2}{d_1} < 0,9,$$
$$\frac{47}{63} < 0,9,$$
$$0,75 < 0,9.$$

Podmienka platí, preto je nutné použiť pridržiavač aj v druhej operácii.

- Posledný ťah – nakoľko sa jedná o opačný smer ťahania ako v predchádzajúcich ťahoch a bude sa pretvárať nepretvorený materiál, tak sa použije výpočet ako pre prvý ťah:

$$a = 50 \cdot \left( y - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_R}} \right) = 50 \cdot \left( 1,9 - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[3]{114}} \right) = 80,42 [-].$$
$$a > 100 \cdot \frac{d_3}{D_R},$$
$$80,42 > 100 \cdot \frac{79}{114},$$
$$80,42 > 69,3.$$

Aj pri poslednom ťahu platí podmienka, a preto sa musí využiť pridržiavač počas procesu.

- Podľa Freidlinga pre prvý ťah (2.39):

$$\Delta s = \frac{s_0}{D_{pp}} \cdot 100 = \frac{2}{132} \cdot 100 = 1,52 [-].$$

Pomerná hrúbka je v rozmedzí od 1,5 do 2, a tým pádom nie je možné z tohto výpočtu jednoznačne rozhodnúť o použití pridržiavača.

- Podľa Šofmana pre prvý ťah (2.43):

$$D_{pp} - d_1 \leq s_0 \cdot 18,$$
$$132 - 63 \leq 2 \cdot 18,$$
$$69 \leq 36.$$

Podmienka nie je splnená, a preto je potrebné použiť pridržiavač pri prvom ťahu.

Podľa uvedených výpočtov vyšlo, že pridržiavač bude použitý pri všetkých troch operáciách ťahania.

### 3.4 Ťažná medzera

Dôležitý parameter je ťažná medzera (obrázok 52), ktorý je možné stanoviť tromi spôsobmi:

– Podľa normy ČSN 22 7301:

- Prvý ťah podľa vzorca (2.32):

$$z_t = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 = 1,25 \cdot 2 = 2,5 \text{ mm},$$

kde: koeficient bol zvolený 1,25.

- Druhý ťah podľa vzorca (2.33):

$$z_t = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s_0 = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ mm},$$

kde: koeficient bol zvolený 1,2.

- Tretí ťah podľa vzorca (2.33):

$$z_t = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s_0 = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ mm},$$

kde: koeficient bol zvolený 1,2.

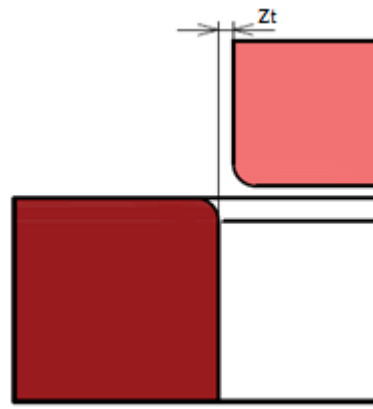
– Podľa Oehlera zo vzťahu (2.34):

$$z_t = s_{\max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} = 2 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 2} = 2,3 \text{ mm},$$

kde:  $k = 0,07$  [-] – materiálová konštanta pre oceľ.

– Stanovenie medzery podľa tabuľky 4:

$$z_t = 2,4 \text{ mm}.$$



Obr. 52 Ťažná medzera.

Výpočty dosiahnuté rôznymi spôsobmi vyšli približne rovnaké, veľkosť ťažnej medzery pre prvý ťah bude 2,5 mm a pre ďalšie ťahy 2,4 mm.

### 3.5 Sila a práca [38]

Pre stanovenie celkovej sily je nutné najskôr spočítať veľkosti síl v jednotlivých operáciách, ktoré sú zložené z pridržiavacej a ťažnej. Sila od vyhadzovačov sa počítať nebude, pretože nebudú vôbec použité. Na určenie ťažnej sa využije vzorec pre výpočet kritickej sily (2.46). medza pevnosti pre materiál DC04 je v rozmedzí 290 – 360 MPa. Pre výpočet bude použitá maximálna hodnota, teda 360 MPa. Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv súčiniteľa ťahania s prihliadnutím k pomernej hrúbke bude vybratý z tabuliek 6 a 7. Výpočet ťažných síl v jednotlivých ťahoch:

$$F_{tk1} = c \cdot \pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot R_m = 1,1 \cdot \pi \cdot 63 \cdot 2 \cdot 360 = 156\,753 \text{ N},$$

kde:  $c = 1,1$  – pre pomernú hrúbku 1,2 a súčiniteľ ťahania 0,48.

$$F_{tk2} = c \cdot \pi \cdot d_2 \cdot s_0 \cdot R_m = 0,9 \cdot \pi \cdot 47 \cdot 2 \cdot 360 = 95\,680 \text{ N},$$

kde:  $c = 0,9$  – pre pomernú hrúbku 1,2 a súčiniteľ ťahania 0,75.

$$F_{tk3} = c \cdot \pi \cdot d_p \cdot s_0 \cdot R_m = 0,68 \cdot \pi \cdot 79 \cdot 2 \cdot 360 = 121\,512 \text{ N},$$

kde:  $c = 0,68$  – pre pomernú hrúbku 1,2 a súčiniteľ ťahania 0,78.

Ďalej je potrebné spočítať strižnú silu na vystrihnutie stredového otvoru:

$$F_s = n_s \cdot l \cdot s_0 \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,55 \cdot 66 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 360 = 58\,925 \text{ N}, \quad (3.30)$$

kde:  $n_s = 1,55$  – otupenie nástroja,

$l = \pi \cdot D_d = \pi \cdot 21 = 66 \text{ mm}$  – dĺžka strižnej hrany,

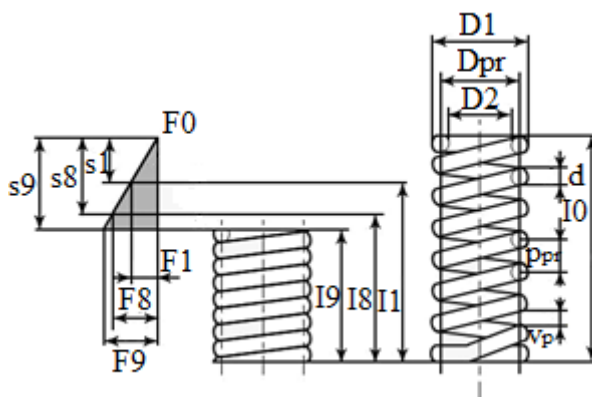
kde:  $D_d = 21 \text{ mm}$  – priemer vystrihnutého otvoru.

Poslednou zložkou celkovej sily bude ťažná sila na vytvorenie prelisu na odl'ahčenie ložiska:

$$F_l = c \cdot \pi \cdot d_4 \cdot s_0 \cdot R_m = 0,75 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 2 \cdot 360 = 50\,894 \text{ N},$$

kde:  $c = 0,75$  – pre pomernú hrúbku 1,2 a súčiniteľ ťahania 0,78.

Pridržiavač bude použitý pri ťahaní vo všetkých troch krokoch vo variante pružinový. Problém pri pružinových je ten, že nevyvíjajú konštantnú silu, ale jej veľkosť závisí od jej stlačenia. To znamená, že každá pružina má svoju charakteristiku závislosti sily na dráhe stlačenia, ktorá je lineárneho charakteru a jej obecná podoba je znázornená na obrázku 53. Prevádzková sila pružiny 'F1' sa nachádza niekde medzi začiatkom 'F0' (čiže nulovou silou) a silou pri jej maximálnom stlačení 'F9'.



Obr. 53 Obecná charakteristika pružiny [38].

Z hľadiska veľkosti sily je najdôležitejšie poznať jej maximálnu prevádzkovú hodnotu vzhľadom na dimenzovanie stroja. To znamená, že je potrebné poznať hodnotu sily, ktorou pružina tlačí pri stlačení v dolnej úvrati (pružina je najviac stlačená v priebehu procesu), teda na konci ťahu. Tlak pridržiavača pre hlboko ťahané ocele sa pohybuje v rozmedzí 1,5 – 3 MPa. Pre výpočet jeho sily v prvom ťahu sa bude počítať s maximálnym tlakom, čiže s 3 MPa a plochou príruby na konci ťahu a bude prevedený vzťahom (2.44):

$$F_{p1} = S_{pr1} \cdot p_1 = \left( \frac{\pi \cdot (D_R^2 - (d_1 + 2 \cdot r_{tc1})^2)}{4} \right) \cdot p_1 = \left( \frac{\pi \cdot (114^2 - (68 + 2 \cdot 13)^2)}{4} \right) \cdot 3 = 9\,802 \text{ N},$$

kde:  $p_1$  – tlak vyvinutý prvým pridržiavačom v dolnej úvrati [MPa].

Maximálna sila vyšla 9 802 N, ktorá sa rozdelí na počet použitých pružín a z vypočítanej sily sa stanoví konštrukcia (geometria) potrebnej pružiny. Stanovenie konštrukcie spolu s výpočtom tlaku na začiatku ťahu sa nachádza v prílohe 5.

Výpočet pri druhom ťahu, teda druhej pridržiavacej sily je rovnaký ako prvý a taktiež sa použije maximálny tlak 3 MPa a plocha pridržiavača:

$$F_{p2} = S_{pr2} \cdot p_2 = \left( \frac{\pi \cdot (d_1^2 - d_{p2}^2)}{4} \right) \cdot p_2 = \left( \frac{\pi \cdot (63^2 - 48^2)}{4} \right) \cdot 3 = 3\,924 \text{ N},$$

kde:  $d_{p2} = 48 \text{ mm}$  – vnútorný priemer druhého pridržiavača,

$p_2$  – tlak vyvinutý pridržiavačom v dolnej úvrati [MPa].

V druhom ťahu je maximálna sila pridržiavača 3 924 N a jej stanovenie konštrukcie a tlaku na začiatku ťahu je v prílohe 6.

Pri treťom ťahu je výpočet odlišný od predchádzajúcich dvoch, pretože na konci ťahu už nie je príruha, a preto nie je možné počítať maximálnu silu spôsobom ako v predchádzajúcich dvoch prípadoch. Preto sa bude počítať sila na začiatku procesu, kde obsah plochy bude uvažovaný ako obsah príruby na začiatku ťahu. Tlak sa stanoví minimálny možný, čiže 1,5 MPa:

$$F_{p3z} = S_{pr3} \cdot p_3 = \left( \frac{\pi \cdot (D_R^2 - d_{p3}^2)}{4} \right) \cdot p_3 = \left( \frac{\pi \cdot (114^2 - 80^2)}{4} \right) \cdot 1,5 = 7\,771 \text{ N},$$

kde:  $d_{p3} = 80 \text{ mm}$  – vnútorný priemer tretieho pridržiavača,

$p_3$  – tlak vyvinutý pridržiavačom na začiatku ťahu [MPa].



Z vypočítanej sily sa opäť stanoví geometria a charakteristika pružiny (príloha 7), z ktorých je následne možné dopočítať maximálnu silu na konci ťahu podľa celkového stlačenia pružiny. Jej hodnota je  $F_{p3} = 12\,432\text{ N}$ .

Celková sila sa spočíta sčítaním všetkých zložiek:

$$F_{tc} = F_{tk1} + F_{tk2} + F_{tk3} + F_s + F_l + F_{p1} + F_{p2} + F_{p3} = 156\,753 + 95\,680 + 121\,512 + 58\,925 + 50\,894 + 9\,802 + 3\,924 + 12\,432 = 509\,922\text{ N}. \quad (3.31)$$

Pri výpočte síl sa dosadzovali maximálne hodnoty, aby vyšli najväčšie možné potrebné sily na jednotlivé úkony. Ale aj napriek tomu je nutné celkovú silu zvýšiť o 25 %, aby bolo zaručené, že počas výroby nenastane v žiadnom okamžiku preťaženie stroja.

$$F_c = 1,25 \cdot F_{tc} = 1,25 \cdot 509\,922 = 637\,402,5\text{ N}. \quad (3.32)$$

Vzhľadom na výpočet sa bude voliť stroj, ktorého minimálna menovitá sila bude mať hodnotu 650 kN.

Pri voľbe stroja je potrebné okrem sily poznať aj potrebnú prácu. Tá sa vypočíta podľa vzťahu (2.49), kde koeficient ťažnej práce má podľa literatúry hodnotu pre hlboké ťahanie bez kalibrovania 0,66. Výpočet pre jednotlivé ťahy:

$$A_{t1} = \frac{F_{tc1} \cdot C_t \cdot h_{t1}}{1000} = \frac{(F_{tk1} + F_{p1}) \cdot 0,66 \cdot 17}{1000} = \frac{(156\,753 + 9\,802) \cdot 0,66 \cdot 17}{1000} = 1\,869\text{ J}.$$

$$A_{t2} = \frac{F_{tc2} \cdot C_t \cdot h_{t2}}{1000} = \frac{(F_{tk2} + F_{p2}) \cdot 0,66 \cdot 21}{1000} = \frac{(95\,680 + 3\,925) \cdot 0,66 \cdot 21}{1000} = 1\,381\text{ J}.$$

$$A_{t3} = \frac{F_{tc3} \cdot C_t \cdot h_{t3}}{1000} = \frac{(F_{tk3} + F_{p3}) \cdot 0,66 \cdot 29,6}{1000} = \frac{(121\,512 + 12\,432) \cdot 0,66 \cdot 29,6}{1000} = 2\,617\text{ J}.$$

Výpočet práce pri vystrihnutí:

$$A_s = F_s \cdot s_0 \cdot \lambda = 59 \cdot 2 \cdot 0,7 = 82,6\text{ J}, \quad (3.33)$$

kde:  $\lambda = 0,7$  – súčiniteľ plnosti.

Výpočet práce pre vytvorenie prelisu:

$$A_l = \frac{F_l \cdot C_t \cdot h_l}{1000} = \frac{50\,894 \cdot 0,66 \cdot 1,5}{1000} = 51\text{ J}.$$

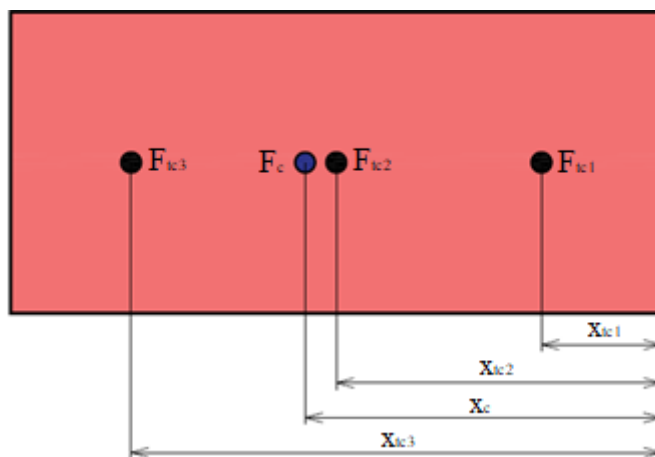
Celková práca:

$$A_c = A_{t1} + A_{t2} + A_{t3} + A_s + A_l = 1\,869 + 1\,381 + 2\,617 + 83 + 51 = 6\,001\text{ J}. \quad (3.34)$$

Celková práca po sčítaní jednotlivých dielčích zložiek vyšla 6 001 J.

### 3.5.1 Ťažisko

Hlavným dôvodom výpočtu ťažiska je zistenie pôsobenia výslednice síl v jednotlivých ťahoch. Tento údaj je dôležitý najmä pre konštrukciu nástroja, pretože do ťažiska sa umiestňuje stopka, ktorá prepája nástroj so strojom, aby nedošlo k momentovému náklonu, čo by mohlo spôsobiť poškodenie nástroja. Na obrázku 54 je znázornená poloha jednotlivých síl pre výpočet. Ako je z neho vidieť, tak výpočet sa bude vykonávať len pre súradnicu v ose 'x', pretože všetky sily sa nachádzajú uprostred šírky nástroja, a tým pádom výslednica bude pôsobiť v tej istej šírke nástroja.



Obr. 54 Poloha jednotlivých síl a ich výslednice.

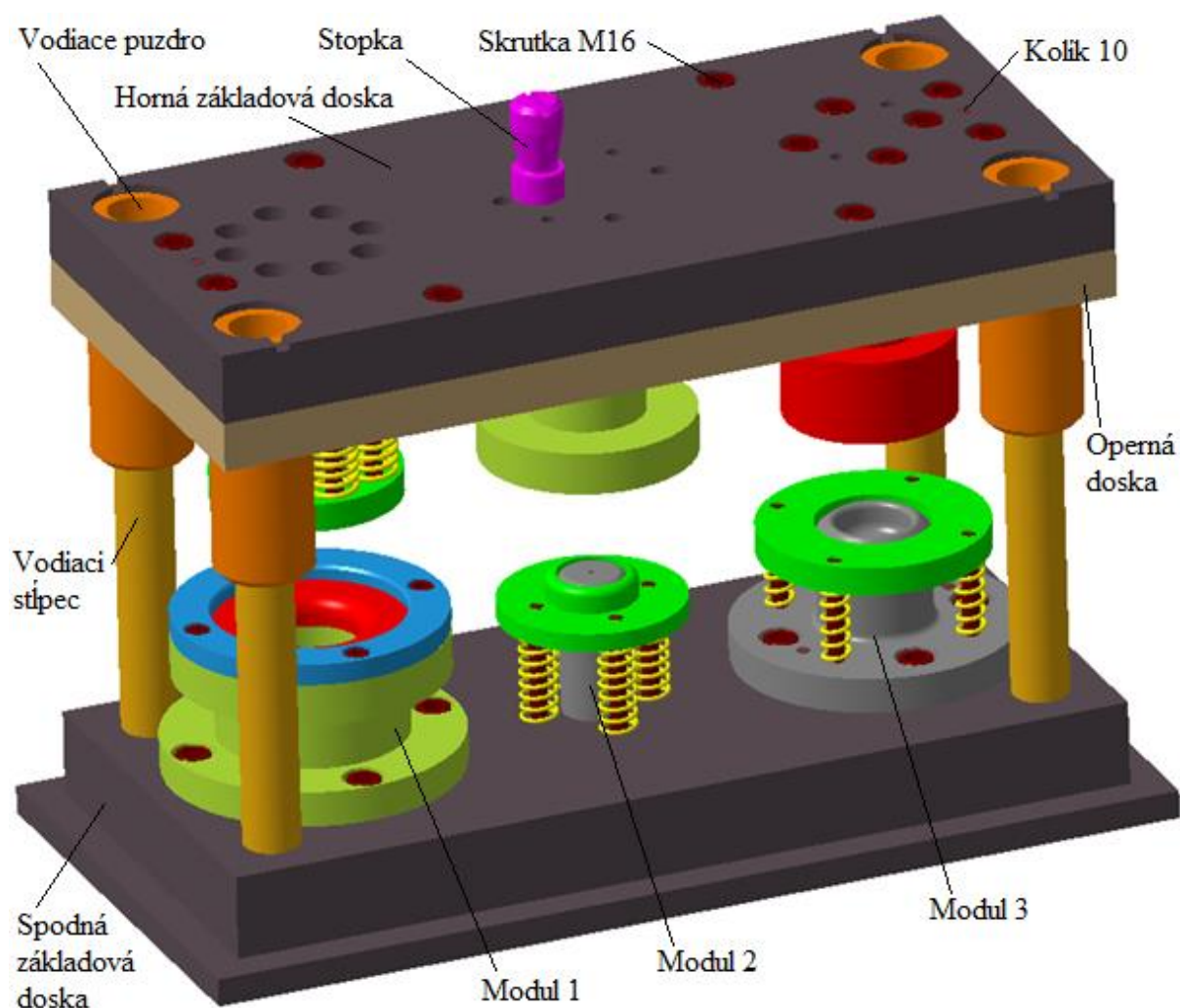
Poloha v x-ovej osi sa vypočíta nasledovne:

$$\begin{aligned}
 x_{tc} &= \frac{\sum_{i=1}^3 F_{tci} \cdot x_{tci}}{F_{tc}} = \frac{F_{tc1} \cdot x_{tc1} + F_{tc2} \cdot x_{tc2} + F_{tc3} \cdot x_{tc3}}{F_{tc}} = \\
 &= \frac{(F_{tk1} + F_{p1}) \cdot x_{tc1} + (F_{tk2} + F_{p2}) \cdot x_{tc2} + (F_{tk3} + F_l + F_s + F_{p3}) \cdot x_{tc3}}{(F_{tk1} + F_{p1} + F_{tk2} + F_{p2} + F_{tk3} + F_{tk33} + F_s)} = \\
 &= \frac{(156\,753 + 9\,802) \cdot 120 + (95\,680 + 3\,924) \cdot 325}{(156\,753 + 9\,802 + 95\,680 + 3\,924 + 121\,512 + 50\,894 + 58\,925 + 12\,432)} + \\
 &\quad + \frac{(121\,512 + 50\,894 + 58\,925 + 12\,432) \cdot 530}{(156\,753 + 9\,802 + 95\,680 + 3\,924 + 121\,512 + 50\,894 + 58\,925 + 12\,432)} = \\
 &= 356 \text{ mm.}
 \end{aligned} \tag{3.35}$$

Súradnice ťažiska sú  $x_{tc} = 356 \text{ mm}$  a  $y_{tc} = 150 \text{ mm}$ .

### 3.6 Návrh nástroja

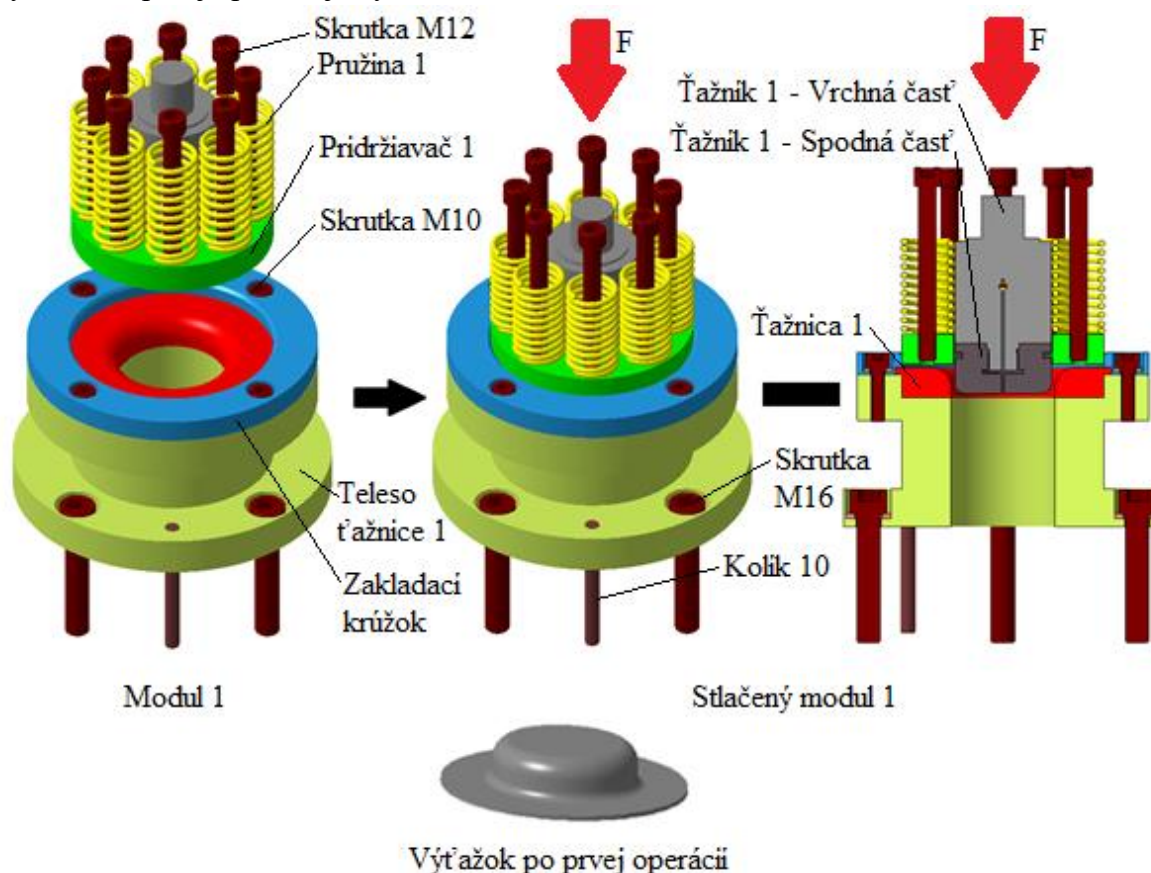
Nástroj je možné zaradiť do kategórie postupových združených, pretože v ňom prebieha viacero ťahov na jeden zdvih a v poslednej operácii sa vykonáva aj technológia strihania. Jeho model je znázornený na obrázku 55 a v prílohe 8 je znázornený pri stlačení.



Obr. 55 Ťažný nástroj.

Kostru nástroja tvorí oceľový stojan zložený zo spodnej a hornej základovej dosky a vodiacich elementov. Tie sú tvorené vodiacimi puzdrami a stĺpcami a zabezpečujú vycentrovanie hornej a dolnej dosky a umožňujú pohyb hornej dosky smerom nadol. Puzdro je zalisované do hornej a opernej dosky, stĺpec sa nachádza v puzdre a je zalisovaný do dolnej. Spolu tvoria sklzné vedenie tvorené štyrmi vodiacimi elementami. Spodná doska bude pripevnená k stolu stroja príložkami a skrutkami, aby sa zamedzilo jej pohybu počas procesu. Horná bude pripojená k baranu stroja cez stopku. Tá bude umiestnená v ťažisku a k vrchnej strane hornej dosky bude pripojená závitom. Operná doska slúži na zabránenie poškodeniu základovej od funkčných častí nástroja. K vrchnej je pripojená skrutkami M16 a vystredená kolíkmi o priemere 10 mm.

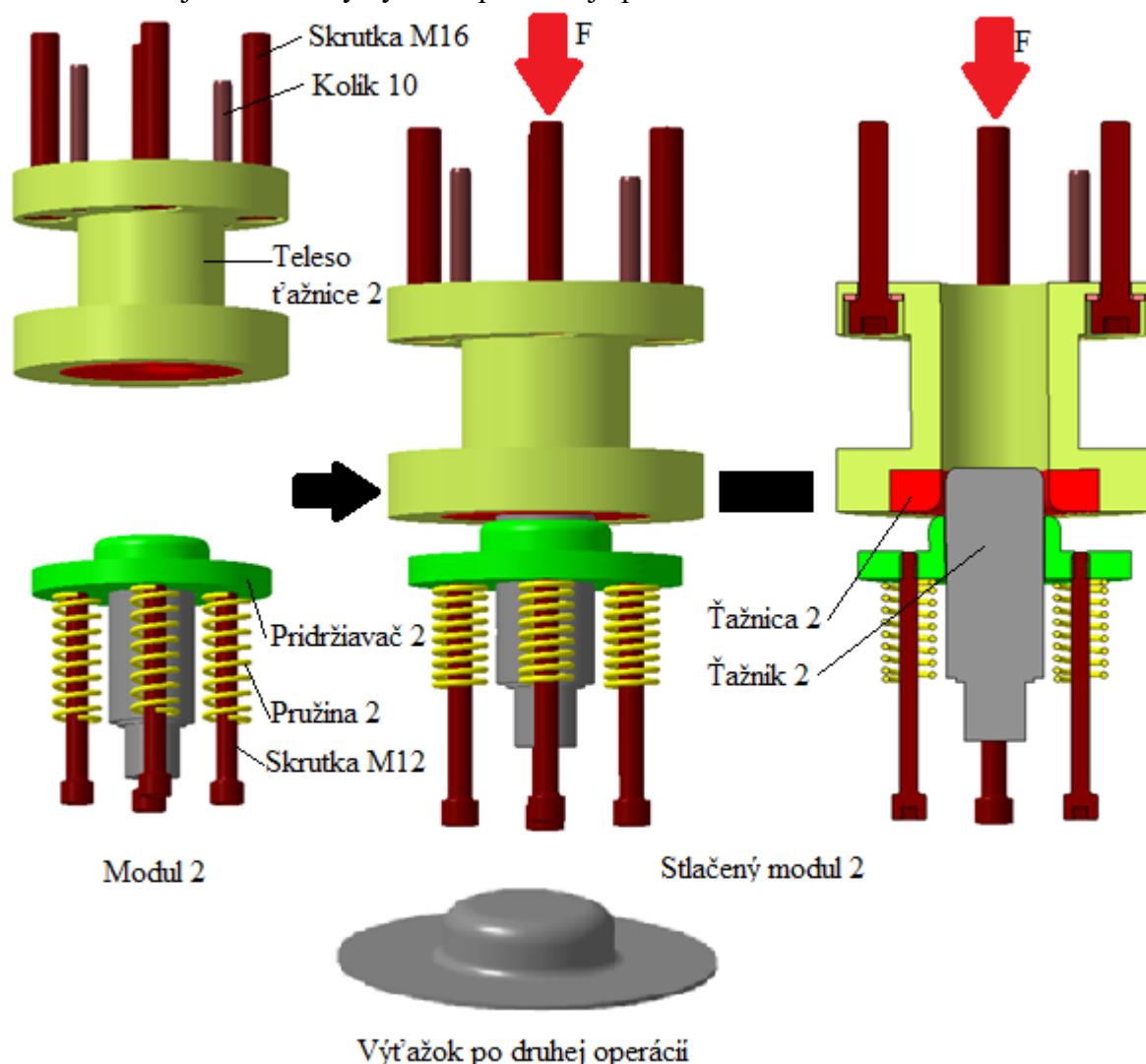
Funkciu nástroja zabezpečujú tri moduly, kde každý modul vykonáva jednu operáciu. Modul 1 je zobrazený na obrázku 56. Jeho úlohou je vytiahnutie kališka o priemere 63 mm, výške 19 mm a príruby s priemerom 114 mm z kruhového polotovaru o priemere 132 mm. Hlavnými jeho časťami sú ťažník a ťažnica. Ťažník sa skladá z dvoch častí, ktoré sú spojené závitom a vrchná časť je pripojená k opernej doske tiež závitom. Okrem spojenia závitom musí byť vrchná časť vycentrovaná v požadovanej polohe. Ťažnica je zalisovaná do telesa ťažnice a ešte pripevnená zakladacím krúžkom, ktorý je skrutkami M10 prichytený o teleso ťažnice. To je naopak spojené s dolnou doskou skrutkami M16 a na vycentrovanie použité kolíky o priemere 10 mm. Aby počas procesu nenastal nechcený pohyb polotovaru alebo zvlnenie, je použitý pružinový pridržiavač. Proces začína vložением polotovaru do zakladacieho krúžku, následne sa horná časť modulu pohybuje smerom nadol, kde ako prvý zastane pridržiavač a prichytí polotovar a potom začne ťažník ťahať kruhový rondel cez ťažnú hranu do ťažnice. Výsledkom prvej operácií je výťažok na obrázku 56.



Obr. 56 Modul 1 – Operácia 1.

Modul 2, vid' obrázok 58, vykonáva druhú operáciu, kde sa z výťažku po prvej operácii vytiahne ten istý tvar, ale s menším priemerom kališka. To znamená, že priemer príruby sa

nezmení a jej veľkosť je 114 mm, priemer kalíška sa zníži na konečných 47 mm a jeho výška narastie na 23 mm. V tomto module si hlavné časti ťažník a ťažnica prehodili miesta, pretože ťažník je pomocou závitu pripevnení k hornej strane spodnej základovej dosky a takisto ako v prvej operácii, tak aj v tejto sa musí vycentrovať do presnej polohy. Ťažnica je zalisovaná v telese, ktoré je skrutkami M16 pripevnené k spodnej strane opernej a hornej dosky a kolíkmi o priemere 10 mm je stanovený presná poloha. Okrem nich je prítomný aj pružinový pridržiavač, ale v tomto prípade sa jedná o vnútorný. Vonkajší by bolo veľmi zložité skonštruovať a po konzultácii s konštruktérom a zohľadnením jeho skúseností z praxe sa dospelo k názoru, že vnútorný pridržiavač by mal byť dostačujúci. Na začiatku ťahu sa výťahok po prvej operácii nastokne na ťažník s pridržiavačom, potom sa ťažnica začne posúvať smerom nadol, čím dochádza k posúvaniu pridržiavača tým istým smerom a zároveň k ťahaníu výťazku. Na obrázku 57 je znázornený výťahok po druhej operácii.

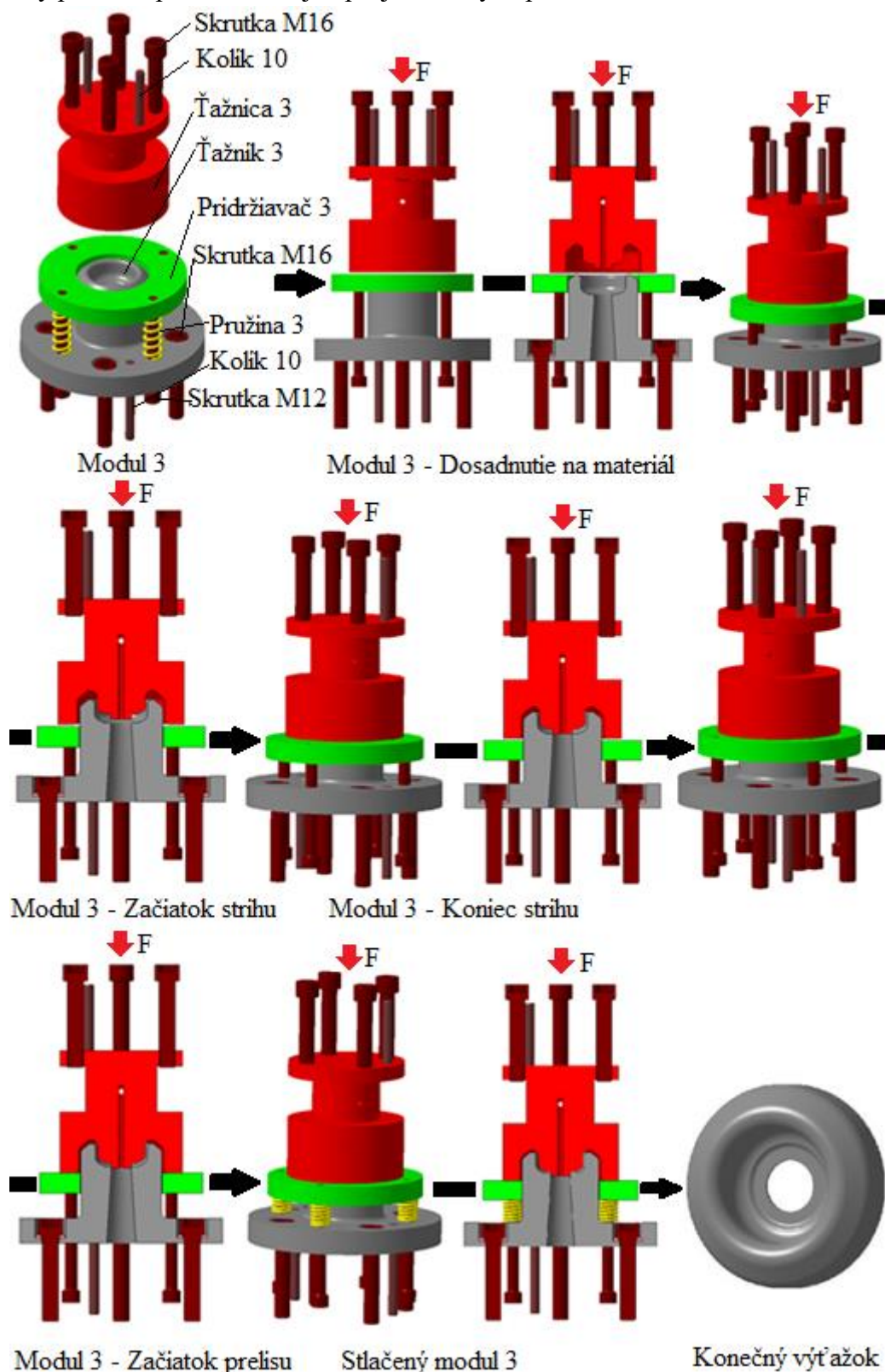


Obr. 57 Modul 2 – Operácia 2.

Posledný modul 3 je zobrazený na obrázku 58 a slúži na vytvorenie konečného tvaru víčka. Okrem primárneho ťahania vonkajšieho tvaru sa v tomto kroku prevádza aj vytvorenie malého prelisu na odlahčenie ložiska a vystrihnutie stredového otvoru pre osku. Tretí modul je zložený z ťažnice, ťažníku, ktoré majú špeciálne tvary a pridržiavača. Ťažník je pomocou skrutiek M16 spojený s hornou stranou dolnej základovej dosky a ustanovený kolíkmi o priemere 10 mm. Ťažnica je spojená skrutkami M16 s dolnou stranou opornej a hornej základovej dosky. Podobne ako ťažník je vystredená kolíkmi o priemere 10 mm. Pridržiavač je vonkajší a slúži na pridržanie príruby. Najskôr sa výťahok po druhej operácii, konkrétne vytvorený kalíšok vloží



do vytvoreného otvoru v ťažníku. Potom sa začne ťažnica posúvať smerom nadol, kde najskôr dosadne na prírubu polotovaru a začne sa s vytváraním vonkajšieho tvaru. Postupne sa ťažnica dostane do polohy, kedy dosadne strižník na dno kalíška a začne sa proces strihania otvoru pre osku. Ten končí, keď sa strižník dostane na úroveň otvoru. Ťažnica stále pokračuje vo svojom pohybe, čím dôjde k vytvoreniu prelisu na odľahčenie ložiska. Tento proces končí s koncom ťahu. Celý proces a poloha nástrojov pri jednotlivých procesoch sú zobrazené na obrázku 58.



Obr. 58 Modul 3 – Operácia 3.



### 3.7 Voľba stroja [39]

Výber stroja sa odvíja od viacerých kritérií. Medzi hlavné patrí veľkosť celkovej potrebnej sily, ktorá vyšla približne 650 kN, veľkosť celkovej práce, ktorej hodnota je približne 6,1 kJ a rozmery nástroja – 700 x 350 x 465 mm. Ďalej bol nástroj konštruovaný pre jednočinné lisy, takže nie je potreba viacčinného lisu. Vzhľadom na tieto parametre a výrobné technológie použité pri tvorbe konečného tvaru víčka bude použitý mechanický lis s kľukovým mechanizmom. Konkrétne sa jedná o výstredníkový lis S 160 E od firmy ŠMERAL, ktorý má stojan v tvare 'C' a menovitú silu 1 600 kN. Zbytok technických parametrov sa nachádza v tabuľke 11 a je zobrazený na obrázku 59.

Tab. 11 Technické parametre lisu S 160 E [39]

Tvárnica sila	1 600 kN
Zovretie	500 mm
Vyloženie	400 mm
Upínacia plocha stola	1 200 x 800 mm
Upínacia plocha barana	860 x 520 mm
Zdvih barana	20 – 160 mm
Počet zdvihov	60 min <sup>-1</sup>
Prestaviteľnosť barana	100 mm
Celkový inštalovaný výkon	15 kW
Rozmery stroja v x š x h	3,3 x 1,2 x 2,3 m
Prevedenie	C



Obr. 59 Výstredníkový lis S 160 E [39].

### 3.8 Návrh maziva [40], [41]

Dôležitou súčasťou výroby je mazivo, ktoré je nutné správne zvoliť a používať počas procesu ťahania. Bude použitý rastlinný olej, ktorý má označenie SOLESTER 91, vyrábaný firmou MOLYDAL. Je vyrobený na bázy rastlinných esterov a patrí medzi najnovšie druhy mazív. Oproti klasickým dosahuje lepších výsledkov, je šetrnejší k životnému prostrediu, zvyšuje životnosť nástrojov, jednoduchšie odstránenie a potreba nižšieho množstva pri rovnakých podmienkach. Ďalšími výhodami sú lepšia prirodzená mazivosť, vyššia príľnavosť a húževnatosť, nemajú žiadny bod vzplanutia (nezahrievajú sa – lepší odvod tepla z povrchu tvárneného materiálu), výrazne pomalšie klesanie viskozity – stabilné vlastnosti mazania. Neobsahujú chlór, fosfor, síru, sekundárne aminy, formalín a ťažké kovy, preto sú úplne bezpečné pre zdravie obsluhy. Ostatné vlastnosti sú v tabuľke 12.

Tab. 12 Vlastnosti maziva SOLESTER 91 [41].

Farba	Vzhľad	Zápach	Hustota pri 25 °C	Kinematická viskozita pri 40 °C	Bod tuhnutia
Žltkastá	Kvapalina	Ľahký	1,02 kg.m <sup>-3</sup>	5 mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	0 °C

Používa sa pri lisovaní ohýbaní, rezaní, valcovaní, profilovaní a pre všetky druhy kovov. Môže sa aplikovať rozprašovaním, kvapkaním alebo valčekom. Jeho odstránenie je jednoduché a je možné oplachom v horkej vode.

#### 4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE [1], [42], [43]

Úlohou ekonomického zhodnotenia je vypočítanie nákladov na výrobu víčka a stanovenie jeho ceny. Do výpočtov bude zahrnutá len výroba v postupovom nástroji zvolenou technológiou hlbokého ťahania, čo znamená, že výroba kruhového prístrihu a dokončovacie operácie nebudú súčasťou výpočtu.

V rámci stanovenia celkových nákladov sa predpokladá, že vo firme sa nachádza potrebný stroj, ktorý je už odpísaný z daní a pomocné vybavenie, preto sa nebudú započítavať. Okrem nich sa z dôvodu nedostatku informácií nebudú uvažovať náklady na servis a údržbu, spotrebné diely a stlačený vzduch. Náklady, ktoré budú zahrnuté v ekonomickom zhodnotení je možné rozdeliť podľa vzťahu k objemu výroby na:

- Variabilné – sú premenlivé a závisia od veľkosti výrobnej série. Čím je väčší počet vyrábaných kusov, tým je ich hodnota vyššia. Medzi tieto položky patrí:
  - Náklady na materiál – pri materiálovom zhodnotení bude uvažovaný zvolený polotovár, čo je tabuľa plechu o veľkosti 3 000 x 1 500 x 2 mm ocele DC04. Z dôvodu zmetkovitosti sa veľkosť série zvýši o 1 % a teda výpočty budú prevedené pre 25 250 ks.

Počet tabúl:

$$p_t = \frac{25\,250}{n_t} = \frac{25\,250}{231} = 109,3 \text{ ks}, \quad (4.1)$$

kde:  $n_t = 231$  ks – počet kusov z jednej tabule.

Počet tabúl sa zaokrúhli smerom nahor, čiže bude potreba 110 tabúl plechu.

Hmotnosť jednej tabule:

$$m_t = V_t \cdot \rho_{ocel} = 3 \cdot 1,5 \cdot 0,002 \cdot 7\,850 = 70,65 \text{ kg}, \quad (4.2)$$

kde:  $V_t$  – objem jednej tabule [ $\text{m}^3$ ],

$\rho_{ocel} = 7\,850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  – hustota ocele.

Hmotnosť všetkých tabúl:

$$m_{tc} = m_t \cdot p_t = 70,65 \cdot 110 = 7\,771,5 \text{ kg}. \quad (4.3)$$

Cena za vstupný materiál:

$$N_m = C_m \cdot m_{tc} = 18,80 \cdot 7\,771,5 = 146\,104,2 \text{ Kč}, \quad (4.4)$$

kde:  $C_m$  – cena materiálu za jeden kilogram (18,80 Kč/kg – TECHNOTRON-METAL s.r.o.).

Hmotnosť jednej súčiastky:

$$m_s = S_p \cdot s_0 \cdot \rho_{ocel} = 0,013\,684\,8 \cdot 0,002 \cdot 7\,850 = 0,214\,852 \text{ kg}. \quad (4.5)$$

Hmotnosť všetkých súčiastok:

$$m_{sc} = m_s \cdot 25\,250 = 0,214\,852 \cdot 25\,250 = 5\,425,1 \text{ kg}. \quad (4.6)$$

Hmotnosť odpadu:

$$m_{od} = m_{tc} - m_{sc} = 7\,771,5 - 5\,425,1 = 2\,346,4 \text{ kg}. \quad (4.7)$$

Cena za odpad z materiálu:

$$N_{od} = C_{od} \cdot m_{od} = 2,60 \cdot 2\,346,4 = 6\,100,7 \text{ Kč}, \quad (4.8)$$

kde:  $C_{od}$  – cena odpadu za kilogram (2,60 Kč/kg – KOVOKOM ŠROT s.r.o.).

Celkové náklady za materiál:

$$N_{mc} = N_m - N_{od} = 146\,104,2 - 6\,100,7 = 140\,003,5 \text{ Kč}. \quad (4.9)$$

Po odpočítaní zisku za predaj odpadu sa na materiál minie celkovo 140 003,5 Kč.

- Náklady na mzdy – závisia hlavne od hodinovej mzdy pracovníka a celkového výrobného času. Výška super hrubej mzdy pracovníka obsluhujúceho stroj je 200 Kč/hod. Dĺžka zmeny je stanovená na 8,5 hodiny vrátane polhodinovej obedovej prestávky, čo znamená, že robotník pracuje  $t_p = 8$  hodín. Z nich je nutné ešte odpočítať 0,5 hod pre zahájenie a ukončenie zmeny a 0,5 hod na kontrolu nástrojov a hotových výrobkov. Z toho vyplýva, že pracovník sa venuje výrobe produktu  $t_v = 7$  hodín zo zmeny. Doba zdvihu, ktorá zahŕňa vybratie konečného výtlačku z tretieho modulu a vloženie do krabice, presunutie výtlačku z druhého do tretieho modulu, presunutie výtlačku z prvého do druhého modulu a namazanie polotovaru a založenie do prvého modulu, je stanovená na  $t_z = 25$  s.

Počet súčiastok vyrobených za hodinu:

$$n_{sk} = \frac{3\,600}{t_z} = \frac{3\,600}{25} = 144 \text{ ks/hod}. \quad (4.10)$$

Počet súčiastok vyrobených za zmenu:

$$n_{sz} = n_{sk} \cdot t_v = 144 \cdot 7 = 1\,008 \text{ ks/zmena}. \quad (4.11)$$

Celkový počet zmien:

$$n_{szc} = \frac{25\,250}{n_{sz}} = \frac{25\,250}{1\,008} = 25,05 \text{ zmien}. \quad (4.12)$$

Celkový počet potrebných zmien pre výrobu 25 250 ks víčka bude 26.

Celkový počet potrebných hodín na výrobu danej série:

$$n_{shc} = t_p \cdot n_{szc} = 8 \cdot 26 = 208 \text{ hod}. \quad (4.13)$$

Mzdové náklady:

$$N_{m2} = 200 \cdot n_{shc} = 200 \cdot 208 = 41\,600 \text{ Kč}. \quad (4.14)$$

Celkové náklady na mzdy pracovníka majú hodnotu 41 600 Kč.

- Náklady na mazivo – závisí od počtu kusov, ktoré je možné namazať z jedného litra oleja. Odhadom bol tento počet stanovený na 950 ks.

Objem maziva potrebného na celú sériu:

$$V_{maz} = \frac{25\,250}{950} = 26,6 \text{ l}. \quad (4.15)$$

Nakoľko bol počet kusov stanovený odhadom, tak celkový objem sa zaokrúhli na 30 l.

Náklady na mazivo:

$$N_{m3} = V_{maz} \cdot C_{m3} = 30 \cdot 126 = 3\,780 \text{ Kč}, \quad (4.16)$$

kde:  $C_{m3}$  – cena maziva za liter (126 Kč/l – ML maziva s.r.o.).

Náklady na mazivo sú 3 780 Kč.

- Náklady na elektrickú energiu stroja – výpočet ovplyvňuje hlavne jednotková cena  $C_e = 4,3$  Kč/kWh (ČEZ), doba práce a príkon stroja  $P_s = 5$  kW:

$$N_e = C_e \cdot n_{shc} \cdot P_s = 4,3 \cdot 208 \cdot 5 = 4\,472 \text{ Kč.} \quad (4.17)$$

Náklady na elektrickú energiu spotrebovanú strojom sú 4 472 Kč.

Celkové variabilné náklady:

$$\begin{aligned} N_{cv} &= N_{m1} + N_{m2} + N_{m3} + N_e = 140\,003,5 + 41\,600 + 3\,780 + 4\,472 = \\ &= 189\,855,5 \text{ Kč.} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Celkové variabilné náklady sa zaokrúhľia na hodnotu 190 000 Kč.

- Fixné – nie sú závislé od veľkosti výrobnjej série. Pre tento výpočet sa bude uvažovať len cena za nástroj:

- Náklady na nástroj – cena je len odhadovaná:

$$N_n = 450\,000 \text{ Kč.}$$

- Celkové výrobné náklady sa následne spočítajú ako súčet variabilných a fixných:

$$N_c = N_{cv} + N_n = 190\,000 + 450\,000 = 640\,000 \text{ Kč.} \quad (4.19)$$

Po spočítaní všetkých priamych nákladov na výrobu je nutné spočítať aj náklady nepriame, ktoré sa nazývajú aj réžie a je možné ich rozdeliť do troch skupín:

- ❖ Výrobné – zahrňujú položky súvisiace s riadením a obsluhou výroby ako napr. mzda majstrov, kontrolórov, kúrenie, spotreba režijného materiálu atď. V tomto prípade bola stanovená na 50 % z celkových výrobných nákladov:

$$R_v = N_c \cdot 0,5 = 640\,000 \cdot 0,5 = 320\,000 \text{ Kč.} \quad (4.20)$$

- ❖ Správne – patria sem náklady spojené s vedením a spravovaním podniku a jedná sa hlavne o nevýrobný sektor ako napr. náklady na kancelárske vybavenie a mzdy managementu. Boli stanovené vo výške 100 % z mzdy robotníka:

$$R_s = N_{m2} \cdot 1 = 41\,600 \cdot 1 = 41\,600 \text{ Kč.} \quad (4.21)$$

- ❖ Zásobovacie – do tejto kategórie patria náklady spojené s expedíciou a skladovaním výrobku ako napr. mzda skladníka, balenie výrobkov atď. Podobne ako správne réžie, tak aj tieto budú uvažované ako 100 % z mzdy robotníka:

$$R_z = N_{m2} \cdot 1 = 41\,600 \cdot 1 = 41\,600 \text{ Kč.} \quad (4.22)$$

Poslednou zložkou pri stanovení ceny výrobku je zisk. Zisk sa určí ako určité percento z celkových nákladov vrátane réžií. V tomto prípade bude počítaný 25 – percentný zisk:

$$\begin{aligned} Z &= (N_c + R_v + R_s + R_z) \cdot 0,25 = (640\,000 + 320\,000 + 41\,600 + 41\,600) \cdot 0,25 = \\ &= 260\,800 \text{ Kč.} \end{aligned} \quad (4.23)$$

Celkové náklady sa stanovia súčtom priamych, nepriamych nákladov a zisku:

$$\begin{aligned} N &= N_c + R_v + R_s + R_z + Z = 640\,000 + 320\,000 + 41\,600 + 41\,600 + 260\,800 = \\ &= 1\,304\,000 \text{ Kč.} \end{aligned} \quad (4.24)$$

Cena jednej súčiastky:

$$N_{ks} = \frac{N}{25\,250} = \frac{1\,304\,000}{25\,250} = 51,65 \text{ Kč.} \quad (4.25)$$

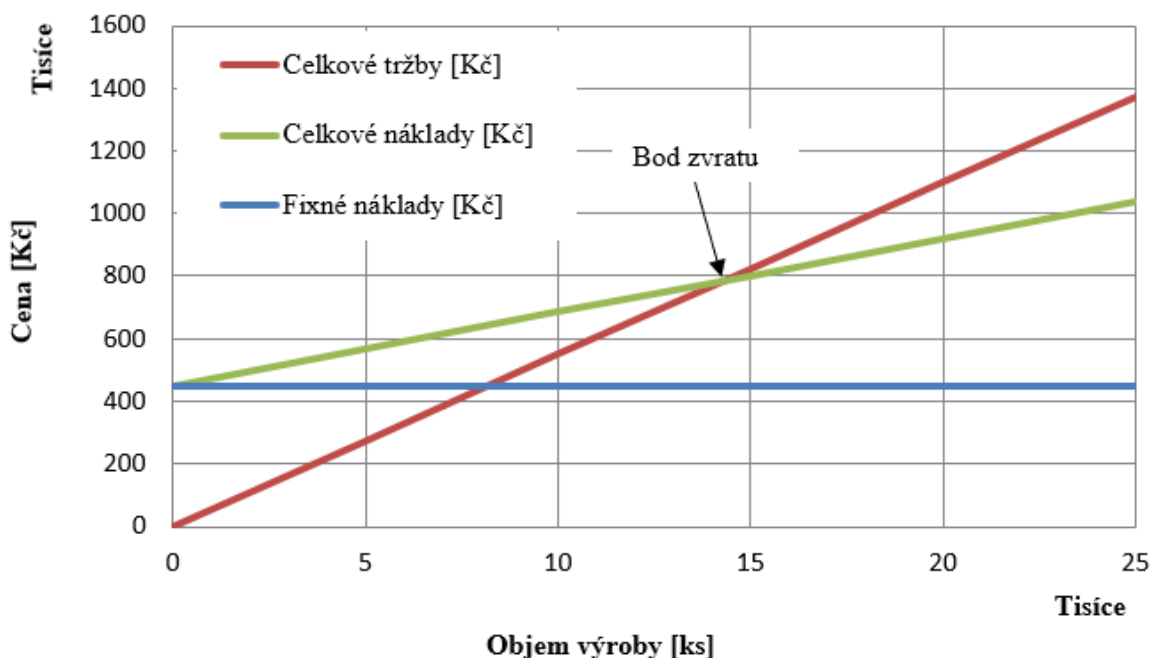
Celkové náklady na výrobu jedného kusu víčka vyšli 51,65 Kč. Vzhľadom na skutočnosť, že do nákladov sa nepočítali operácie pred a po ťahaní a aj v rámci samotného ťahania boli vynechané niektoré položky, tak cena nie je presná a je možné ju označiť za orientačnú, preto je stanovená predajná cena na 55 Kč. V prípade zistenia skutočnej ceny by bolo potrebné uvažovať všetky možné náklady pri výrobe víčka.

Dôležitým parametrom je bod zvratu, ktorý označuje miesto, v ktorom sa vyrovnajú náklady na výrobu a tržby z predaja súčiastky. Čo znamená, že po jeho prekročení začína byť výroba zisková. Vypočíta sa nasledujúcim vzťahom:

$$BZ = \frac{N_n}{N_{ks} - \frac{N_{cv} + R_v + R_s + R_z}{25\,250}} = \frac{450\,000}{55 - \frac{190\,000 + 320\,000 + 41\,600 + 41\,600}{25\,250}} = \quad (4.26)$$

$$= 14\,282,6 \text{ ks.}$$

### Bod zvratu



Obr. 60 Bod zvratu.

Na obrázku 60 je znázornený graf popisujúci bod zvratu, ktorý vyšiel 14 282,6 ks. To znamená, že séria o veľkosti 25 000 ks začne byť zisková po prekročení 14 283 ks. Ale počet kusov potrebných k dosiahnutiu bodu je za polovicou výrobnéj série, a teda výroba začne byť zisková pomerne neskoro. Preto sa odporučí zvýšiť predajnú cenu na 75 Kč. Bod zvratu pre novú cenu je:

$$BZ = \frac{N_n}{N_{ks} - \frac{N_{cv} + R_v + R_s + R_z}{25\,250}} = \frac{450\,000}{75 - \frac{190\,000 + 320\,000 + 41\,600 + 41\,600}{25\,250}} =$$

$$= 8\,736,7 \text{ ks.}$$

Pri zvýšenej predajnej cene vyšiel bod zvratu na 8 736,7 ks, čo je výrazne nižšie číslo ako v predchádzajúcom prípade a výroba začne byť zisková oveľa skôr. Preto konečná cena jedného víčka je stanovená na 75 Kč.



## 5 ZÁVERY

Riešená súčiastka v práci, nazývaná ako víčko, je komplikovaného, kruhového tvaru a slúži na uzatvorenie trubky valcového regálu, ku ktorej je privarená. Okrem toho sa do neho z vnútornej strany lisuje ložisko a stredom prechádza oska, čo zabezpečuje hlavnú funkciu zostavy a to je otáčanie trubky okolo vlastnej osi. Polotovarom pre jeho výrobu bol zvolený oceľový plech o hrúbke 2 mm. Použitý materiál polotovaru je hlbokoťažná oceľ DC04, ktorá je v ukludnenom stave, je veľmi rozšírená a cenovo dostupná. Jej mechanické vlastnosti sú vhodné a dostačujúce pre riešenie súčiastky. Veľkosť výrobné série je 25 000 ks/rok.

Z rozboru možných výrobných variant bola zvolená technológia klasického hlbokého ťahania s pevným nástrojom bez stenčenia steny. Z technologického hľadiska prebehla úprava polomeru zaoblenia stredového kalíšku z dôvodu minimálneho dovoleného polomeru ťažníku. Z hľadiska jednoduchšieho tvaru výroby sa upravil prechod od vnútornej steny kalíška po vonkajší priemer víčka.

Z technologických výpočtov bol stanovený polotovar, ktorý bude kruhového tvaru o priemere 132 mm. Kruhový prístrih sa bude vyrábať z tabule plechu o rozmeroch 3 000 x 1 500 x 2 mm, ktorá bude rozdelená priečne s jednoradovým usporiadaním s využitím 70,25 %. Počet ťažných operácií bol stanovený na tri a pri každej bude nutné použiť pridržiavač. Veľkosť celkovej sily bola stanovená na 650 kN a práca na 6,1 kJ.

Nástroj bol konštruovaný ako postupový, v ktorom všetky tri ťahy prebiehajú súčasne. V prvom kroku sa z rovinného prístrihu vytiahne kalíšok s prírubou, v druhom sa zredukuje priemer kalíška a zväčší jeho výška a v poslednom kroku sa vytvorí vonkajší tvar, vystrihne stredová diera a vytvorí prelis na odľahčenie ložiska. Nástroj bol skonštruovaný pre jednočinný lis a bola zhotovená jeho výkresová dokumentácia. Na základe vypočítanej celkovej sily, práce a rozmerov nástroja bol zvolený výstredníkový lis S 160 E od firmy ŠMERAL s menovitou silou 1 600 kN. Zvolené mazivo je SOLESTER 91 od firmy MOLYDAL.

Z technicko – ekonomického zhodnotenia, v ktorom sa uvažovala len výroba v ťažnom nástroji a boli počítané náklady na materiál, mzdu pracovníka, elektrickú energiu stroja, mazivo, nástroj, réžie a zisk vyšli celkové náklady 1 304 00 Kč. Z nich sa stanovili náklady na jeden kus, ktorých hodnota je 51,65 Kč. Keďže neboli počítané všetky vstupujúce náklady do výroby, tak cenu je možné označiť za orientačnú, a preto predajná cena bola stanovená na 55 Kč. Z výpočtu bodu zvratu, ktorého výsledok je 14 282,6 ks vyšlo, že výroba bude zisková po prekročení tejto hranice. Ale hodnota bodu vyšla až za polovicu výrobné série, preto bolo odporučené zvýšiť predajnú cenu na 75 Kč, pri ktorej je bod zvratu pri 8 736,7 ks.

Pred uskutočnením reálnej výroby by bolo nutné uskutočniť simulácie procesu a následne overovaciu sériu, aby sa potvrdili teoretické výsledky.

## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV [44]

1. BRAŠKO, Zdenko. *Výroba telesa zástrčky*. Brno, 2016. 43 s., 8 výkresov, 7 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedúci bakalárskej práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 3. Brno: CERM, 2003. ISBN 80-214-2340-4.
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2006. ISBN 80-214-2379-9.
4. FOREJT, Milan, *Teorie tváření*. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2764-7.
5. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-030-0221-4.
6. Kuchynské produkty: Kuchynské drez: Nerezové drezy: Blanco Tipo 45 S Compact. *DREZY ONLINE* [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <https://www.drezyonline.sk/blanco-tipo-45-s-compact-p866?variation=2475>
7. PRODUCTS. *GEERTS* [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <http://www.geertsdeepdrawing.com/deepdrawing/products-deep-drawing/4/deep-drawn-products-3.html>
8. Produkty: Vnitřní odvodnění: ACO EG150 Sanitární nerezové vpusti. *ACO Česká republika* [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <http://www.aco.cz/161-aco-eg150-sanitarni-nerezove-vpusti.html>
9. Sítko do dřezu. *GASTROMEX* [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <https://www.gastromex.cz/cz-detail-287353-sitko-do-drezu-nerez-7-5cm.html>
10. ČSN 41 1305. *Česká technická norma (ČSN): Ocel 11 305*. 2. 1988.
11. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
12. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – Teoretický základ: Nekonenční způsoby tváření* [online]. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2016-03-31]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_004/Technologie tváření a slévání – Teoretický základ/02 Text pro e learning/publikovat/kapitoly/11. nekonvenční způsoby tváření.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1r%C4%99n%C3%AD%20a%20sl%C4%99v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e%20learning/publikovat/kapitoly/11.%20nekonven%C4%8Dn%C3%AD%20zp%C5%99soby%20tv%C3%A1r%C4%99n%C3%AD.pdf)
13. MARCINIAK, Zdislaw, John L. DUNCAN a Jack S. HU. *Mechanics of Sheet Metal Forming*. 2. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002, 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
14. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 2 sv. (134, 155 s.). ISBN 978-80-214-4406-52.
15. Sheet Metal Forming. *CUSTOMPART* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>
16. MEP POSTŘELMOV: výrobní program: slévárna: gravitační lití do forem. *SLOVÁCKÉ STROJÍRNY, a. s.* [online]. [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/mep-postrelmov/slevarna/gravitacni-liti-do-forem.aspx>

17. STIRLING MOTOR BENGIS LAURA 3. *Luboš Třmínek – osobní stránky* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <http://lubos.trminek.cz/index.php/parni-stroje/stirling-motor-bengis-laura/78-stirling-motor-bengis-laura-3>
18. LENFELD, Petr. Technologie plošného tváření – tažení. *Technologie II* [online]. 2005 [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm)
19. Tvářecí postupové nástroje. *ELAKOV PRODUCTION: Nástrojárna* [online]. 2018, 2010-2018 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: [http://www.elakov.cz/postupove\\_tvareci\\_nastroje.php](http://www.elakov.cz/postupove_tvareci_nastroje.php)
20. DVOŘÁK, Milan et al. *Technologie II*. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
21. HOSFORD, William F, Robert M CADDELL, a. *Metal forming: Mechanics and metallurgy*. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-1-107-00452-8.
22. PROKOP, Karel. *Výroba tělesa olejového filtru*. Brno, 2013. 57 s. 5 výkresů. CD. Diplomová práce. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
23. HELLWIG, Waldemar. *Spanlose Fertigung: Stanzen*. 5., überarb. Und erw. Aufl. Wiesbaden: Vieweg, 1994. Fachbuch der Technik (Vieweg). ISBN 35-284-4042-2.
24. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření II* [online]. Ostrava, 2001, 115 s. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: [http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod\\_TV2.pdf](http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf)
25. ŠVERCL, Josef. *Konstrukce, rozviny a stříhy výrobků z plechu pro školu a praxi*. 1. Praha: Scientia, 2000, 141 s. ISBN 80-7183-176-x.
26. ŽÁK, Ladislav. *Tažení*. [prednáška]. Brno: VUT, 30. oktobra 2014. [cit. 2018-01-17].
27. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959, 537 s.
28. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. 2. Brno: CERM, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
29. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994.
30. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
31. KOPECKÝ, Miloslav a Bedřich RUDOLF. *Tvářecí stroje: mechanické a hydraulické lisy: určeno pro posl. Fakulta. Strojní v Praze, Plzni, Brně a Bratislavě*. 1. Praha: SNTL, 1967. Učební texty vysokých škol.
32. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje – poznámky k přednáškám* [online]. Praha: ČVUT, 2007 [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobní-stroje-a-zarizeni.html>
33. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Část tvářecí stroje* [online]. 2002 [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/vyrobní\\_stroje\\_a\\_zarizení\\_novotny.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobní_stroje_a_zarizení_novotny.pdf)

34. STANĚK, Jiří. *Základy stavby výrobních strojů : tvářecí stroje*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. 126 s.
35. STRÁNSKY, Martin. Oleje pro operace lisování. *MMspektrum* [online]. 2015, 08.04.2015, 2015(4), 39 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/oleje-pro-operace-lisovani.html>
36. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2 – 1. Díl: Polotovary a jejich technologičnost*. 2. Praha: Scienta, 2001. ISBN 80-7183-244-8.
37. Stríhanie, úprava a predaj plechových zvitkov. *ŠK-Pexim s.r.o.* [online]. 2016 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.sk-pexim.sk/plechove-zvitky.php>
38. Návrh tlačné pružiny dle rozměrů. *E-konstrukter* [online]. 2017 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/137-vypocet-pruzin/138-pruzina-vinuta-tlacna/148-navrh-tlacne-pruziny-dle-rozmeru>
39. Výrobní program: Výstředníkové lisy. *ŠMERAL* [online]. Brno, 2017 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: [http://www.smeral.cz/vystrednikove\\_lisy.html](http://www.smeral.cz/vystrednikove_lisy.html)
40. STRÁNSKÝ, Martin. Oleje pro operace lisování. *TriboTechnika* [online]. TechPark, 2015, 2015(4), 1 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42015/oleje-pro-operace-lisovani.html>
41. EKO maziva a oleje – Zpracování kovů: SOLESTER 91. *ML maziva s.r.o.* [online]. 2018 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: [http://shop.molydal.cz/\\_pdf/SOLESTER%2091.pdf](http://shop.molydal.cz/_pdf/SOLESTER%2091.pdf)
42. Základní veličiny efektivnosti podnikání. *SlidePlayer* [online]. 2018 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2849890/>
43. Ceník výkupu kovů. *Kovokom šrot s.r.o.* [online]. Umix, 2015 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.kovokomsrot.cz/cenik-vykupu-kovu/>
44. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2012 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
45. VYSKOČIL, Oldřich a Pavel BARTOŠ. *Směrnice pro konstrukci nástrojů pro střihání (učební texty)*. Brno: Zbrojovka Brno a.s., 1977, 88 s.

## **ZOZNAM POUITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

Označenie	Legenda	Jednotka
A	Označenie oblasti príruby	[-]
A'	Označenie začiatku zaoblenia z dna do steny	[-]
A <sub>80</sub>	anos materiálu	[%]
A <sub>c</sub>	Celkov práca	[J]
A <sub>l</sub>	Práca potrebn na vytvorenie prelisu	[J]
A <sub>s</sub>	Strin práca	[J]
A <sub>t</sub>	an práca	[J]
A <sub>t1-3</sub>	an práca v jednotlivých ťahoch	[J]
a	Sinitel' pri voľbe pridržiavača	[-]
B	Označenie oblasti prechodu medzi prírubou a stenou	[-]
B'	Označenie konca zaoblenia z dna do steny	[-]
BZ	Bod zvratu	[ks]
C	Označenie oblasti plášťa	[-]
C'	Označenie konca vaku	[-]
C <sub>e</sub>	Cena elektrickej energie	[K.kWh <sup>-1</sup> ]
C <sub>m</sub>	Cena materiálu za jeden kilogram	[K.kg <sup>-1</sup> ]
C <sub>m3</sub>	Cena maziva za jeden liter	[K.l <sup>-1</sup> ]
C <sub>od</sub>	Cena odpadu za jeden kilogram	[K.kg <sup>-1</sup> ]
C <sub>t</sub>	Koeficient ťažnej práce	[-]
c	Sinitel' vyjadrujúci vplyv sinitel'a ťahania s prihliadnutím k pomernej hrúbke	[-]
D	Označenie oblasti prechodu medzi stenou a dnom	[-]
D <sub>R</sub>	Priemer príruby po prvom ťahu	[mm]
D <sub>r</sub>	Zmenujci sa priemer prístrihu	[mm]
D <sub>p</sub>	Priemer prístrihu pri ahan	[mm]
D <sub>pp</sub>	Priemer prístrihu po zohľadnen počtu operácií	[mm]
D <sub>sv</sub>	Vonkaji priemer zvitku	[mm]
D <sub>ta</sub>	Priemer anku	[mm]
D	Doln vrat'	[mm]
d	Priemer drôtu pružiny	[mm]
d <sub>0</sub>	Priemer stredy polomeru zaoblenia ťažnice	[mm]
d <sub>1</sub>	Priemer kalíšku vaku po prvom ťahu	[mm]
d <sub>2</sub>	Priemer kalíšku vaku po druhom ťahu	[mm]
d <sub>3</sub>	Priemer vaku dosiahnutel'nho v tretej operácií	[mm]
d <sub>4</sub>	Priemer prelisu	[mm]
d <sub>A-K</sub>	Priemer pouit pri výpočtoch plôšok	[mm]
d <sub>i</sub>	Priemer vaku po danej ťažnej operácie	[mm]
d <sub>i-1</sub>	Priemer vaku po predchádzajúcej ťažnej operácie	[mm]
d <sub>n</sub>	Vonkaji priemer dna vaku po poslednom ťahu	[mm]
d <sub>n-1</sub>	Vonkaji priemer dna vaku po predposlednom ťahu	[mm]
d <sub>p</sub>	Priemer vaku	[mm]



## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Označenie	Legenda	Jednotka
$d_{p2-3}$	Vnútorný priemer pridržiavača v krokoch 2 a 3	[mm]
$d_{pr}$	Priemer príruby výťažku	[mm]
$d_s$	Stredná hodnota priemeru výťažku	[mm]
$d_{sv}$	Vnútorný priemer zvitku plechu	[mm]
$d_{taž}$	Priemer ťažnice	[mm]
$d\alpha$	Označenie posunutie o daný uhol	[°]
$d\varphi$	Diferenciálne malý uhol	[°]
$d\rho$	Diferenciálne malý prírastok polomeru	[mm]
$d\sigma_1$	Diferenciálne malý prírastok tangenciálneho ťahového napätia	[MPa]
E	Označenie oblasti dna	[-]
$E_m$	Vzdialenosť medzi dvomi prístrihmi	[mm]
e	Zdvih	[mm]
F	Sila stroja	[N]
$F_{0,1,8,9}$	Obečné sily vyvinuté pružinou	[N]
$F_0$	Aktuálna sila stroja	[N]
$F_c$	Celková sila	[N]
$F_f$	Trecia sila pod prírubou	[N]
$F_l$	Sila potrebná na vytvorenie prelisu	[N]
$F_m$	Dvojité vzdialenosť prístrihu od kraja pásu plechu	[mm]
$F_{max}$	Maximálna ťažná sila	[N]
$F_p$	Sila pridržiavača	[N]
$F_{p1-3}$	Sila pridržiavača v jednotlivých ťahoch	[N]
$F_{p3z}$	Sila pridržiavača 3 na začiatku procesu	[N]
$F_s$	Strižná sila	[N]
$F_t$	Ťažná sila podľa Sachse	[N]
$F_{taž}$	Ťažná sila	[N]
$F_{tc}$	Celková ťažná sila	[N]
$F_{tci}$	Obečné označenie celkovej sily v jednom ťahu	[N]
$F_{tc1-3}$	Celková sila v jednotlivých ťahoch	[N]
$F_{tk}$	Ťažná sila na odtrhnutie dna	[N]
$F_{tk1-3}$	Ťažná sila na odtrhnutie dna v jednotlivých ťahoch	[N]
$F_v$	Sila od vyhadzovača	[N]
f	Súčiniteľ trenia	[-]
$f_{B-J}$	Priečna dĺžka oblúku pri výpočtoch jednotlivých plôšok	[mm]
H	Pracovný zdvih	[mm]
HÚ	Horná úvrat'	[mm]
h	Výška výťažku	[mm]
$h_0$	Dĺžka zvlnenej príruby	[mm]
$h_1$	Výška výťažku po prvom ťahu	[mm]
$h_2$	Výška výťažku po druhom ťahu	[mm]

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Označenie	Legenda	Jednotka
$h_{B-K}$	Výška oblúku pri výpočtoch jednotlivých plôšok	[mm]
$h_l$	Dĺžka ťahu na vytvorenie prelisu	[mm]
$h_{n-1}$	Výška výtlačku po predposlednom ťahu	[mm]
$h_{t1-3}$	Dĺžka jednotlivých ťahov	[mm]
$I_{0,1,8,9}$	Výška pružiny pri rôznom stlačení	[mm]
$i$	Pomocná premenná	[-]
$K$	Dĺžka kroku	[mm]
$K_T$	Stupeň ťahania	[-]
$k$	Materiálový súčiniteľ	[-]
$k_v$	Tuhosť pružiny	[N/mm]
$L$	Dĺžka krivky	[mm]
$L_{sv}$	Dĺžka zvitku	[mm]
$L_{1,2,...,n}$	Dĺžka krivky jednotlivých úsekov tvoriacich krivku	[mm]
$l$	Dĺžka strižnej hrany	[mm]
$M$	Moment sily kľukového mechanizmu	[Nm]
$M_o$	Ohybový moment	[Nm]
$m$	Súčiniteľ ťahania	[-]
$m_1$	Súčiniteľ ťahania pre prvú operáciu	[-]
$m_2$	Súčiniteľ ťahania pre druhú operáciu	[-]
$m_3$	Súčiniteľ ťahania pre tretiu operáciu	[-]
$m_4$	Súčiniteľ ťahania pre štvrtú operáciu	[-]
$m_5$	Súčiniteľ ťahania pre piatu operáciu	[-]
$m_c$	Celkový súčiniteľ ťahania	[-]
$m_n$	Súčiniteľ ťahania pre poslednú operáciu	[-]
$m_{od}$	Hmotnosť odpadu	[kg]
$m_s$	Hmotnosť jednej súčiastky	[kg]
$m_{sc}$	Hmotnosť všetkých súčiastok	[kg]
$m_t$	Hmotnosť jednej tabule	[kg]
$m_{tc}$	Hmotnosť všetkých tabúl	[kg]
$m^*$	Stredná hodnota súčiniteľa ťahania pre ďalšie ťahy	[-]
$N$	Celkové náklady	[Kč]
$N_c$	Celkové výrobné náklady	[Kč]
$N_{cv}$	Celkové variabilné náklady	[Kč]
$N_e$	Náklady na elektrickú energiu	[Kč]
$N_{ks}$	Cena jednej súčiastky	[Kč]
$N_m$	Náklady na vstupný materiál	[Kč]
$N_{m2}$	Celkové mzdové náklady	[Kč]
$N_{m3}$	Náklady na mazivo	[Kč]
$N_{mc}$	Celkové náklady na vstupný materiál	[Kč]
$N_{od}$	Cena za odpad materiálu	[Kč]
$n$	Počet ťahov	[ťahy]

## **ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

Označenie	Legenda	Jednotka
$n_1$	Počet ťahov na vytvorenie kalíšku	[ťahy]
$n_s$	Otupenie strižného nástroja	[-]
$n_{shc}$	Celkový počet potrebných hodín	[hod]
$n_{sk}$	Počet súčiastok vyrobených za hodinu	[ks]
$n_{sz}$	Počet súčiastok vyrobených za zmenu	[ks]
$n_{szc}$	Celkový počet zmien	[zmeny]
$n_t$	Počet kusov z jednej tabule	[ks]
$P_s$	Príkon stroja	[kW]
$p$	Merný tlak pridržiavača	[MPa]
$p_{1-3}$	Merný tlak pridržiavača v jednotlivých ťahoch	[MPa]
$p_k$	Počet kusov z pása plechu	[ks]
$p_p$	Počet pásov plechu	[ks]
$p_{pr}$	Stúpanie pružiny	[mm]
$p_t$	Počet potrebných tabúl' plechu	[ks]
$p_v$	Počet kusov z tabule plechu	[ks]
$p_z$	Počet potrebných zvitkov plechu	[ks]
$R$	Polomer počas deformácie	[mm]
$R_0$	Polomer prístrihu vyjdený z grafickej metódy	[mm]
$R_1$	Jeden polomer zaoblenia ťažnice	[mm]
$R_2$	Druhý polomer zaoblenia ťažnice	[mm]
$R_e$	Medza sklzu materiálu	[MPa]
$R_m$	Medza pevnosti materiálu	[MPa]
$R_s$	Správne réžie	[Kč]
$R_v$	Výrobné réžie	[Kč]
$R_z$	Zásobovacie réžie	[Kč]
$R_p$	Polomer osi plechu	[mm]
$r$	Polomer zaoblenia prechodu steny do príruby a dna výťazku	[mm]
$r_{B-J}$	Polomery oblúkov pri výpočtoch jednotlivých plôšok	[mm]
$r_{tc}$	Polomer ťažnice	[mm]
$r_{tc1}$	Polomer ťažnice v prvej operácii	[mm]
$r_{tv}$	Polomer ťažníku	[mm]
$S_{1,8,9}$	Obecné stlačenia pružiny	[mm]
$S_1$	Plocha príruby	[mm <sup>2</sup> ]
$S_2$	Plocha zaoblenia pri prechode príruby do steny	[mm <sup>2</sup> ]
$S_3$	Plocha steny	[mm <sup>2</sup> ]
$S_4$	Plocha zaoblenia pri prechode steny do dna	[mm <sup>2</sup> ]
$S_5$	Plocha dna	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{A-K}$	Obsah jednotlivých plôšok konečného výťazku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{p2}$	Plocha diery	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{pc}$	Celkový obsah prístrihu pri výpočte z programu CATIA	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{pr}$	Obsah plochy príruby	[mm <sup>2</sup> ]

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Označenie	Legenda	Jednotka
$S_{pr1-3}$	Obsah plochy prírubby v jednotlivých ťahoch	$[mm^2]$
$S_{tab}$	Obsah plochy tabule plechu	$[mm^2]$
$S_{zvit}$	Obsah plochy zvitku	$[mm^2]$
$s$	Hrúbka plechu po deformácií	$[mm]$
$s_0$	Hrúbka materiálu	$[mm]$
$s_{max}$	Maximálna hrúbka materiálu	$[mm]$
$\bar{S}P$	Šírka pásu plechu	$[mm]$
$T_1$	Ťažisko prvej časti úsečky	$[-]$
$T_2$	Ťažisko druhej časti úsečky	$[-]$
$T_3$	Ťažisko tretej časti úsečky	$[-]$
$t_p$	Počet pracovných hodín za zmenu	$[hod]$
$t_v$	Počet hodín výroby daného produktu	$[hod]$
$t_z$	Doba zdvihu	$[s]$
$u_{0,1,2,3,...,n}$	Označenie úsečiek pri grafickej metóde	$[-]$
$V_{max}$	Objem spotrebovaného oleja	$[l]$
$V_p$	Objem prístrihu	$[mm^3]$
$V_t$	Objem jednej tabule	$[mm^3]$
$V_v$	Objem hotového výtlačku	$[mm^3]$
$v$	Rýchlosť hydraulického lisu	$[mm.s^{-1}]$
$v_1$	Rýchlosť kľukového mechanického lisu	$[mm.s^{-1}]$
$v_p$	Rozteč pružiny	$[mm]$
$X$	Označenie ľubovoľného bodu pri grafickej metóde	$[-]$
$X_p$	Percentuálne využitie polotovaru	$[\%]$
$x$	Dráha ťažiska krivky	$[mm]$
$x_{1,2,...,n}$	Dráha ťažiska krivky jednotlivých úsekov od osi rotácie	$[mm]$
$x_s$	Stlačenie pružiny	$[mm]$
$x_c$	X–ová súradnica ťažiska	$[mm]$
$x_{tc1-3}$	X–ová súradnica ťažiska v jednotlivých ťahoch	$[mm]$
$x_{tci}$	Obecná x–ová súradnica ťažiska	$[mm]$
$y$	Materiálová konštanta	$[-]$
$y_{tc}$	Y–ová súradnica ťažiska	$[mm]$
$Z$	Zisk	$[Kč]$
$z_t$	Ťažná medzera	$[mm]$

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Označenie	Legenda	Jednotka
$\alpha$	Uhol opásania	[rad]
$\beta$	Uhol skosenia ťažnice	[°]
$\Delta s$	Pomerná hrúbka	[-]
$\varphi$	Obecné označenie logaritmickej deformácie	[-]
$\varphi_1$	Logaritmická deformácia v radiálnom smere	[-]
$\varphi_{1\max}$	Maximálna logaritmická deformácia v radiálnom smere	[-]
$\varphi_2$	Logaritmická deformácia v axiálnom smere	[-]
$\varphi_3$	Logaritmická deformácia v tangenciálnom smere	[-]
$\varphi_{3\max}$	Maximálna logaritmická deformácia v tangenciálnom smere	[-]
$\varepsilon_D$	Pomerná deformácia na konci príruby	[-]
$\varepsilon_{d1}$	Pomerná deformácia na vnútornom povrchu nádoby	[-]
$\xi$	Lodeho súčiniteľ	[-]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho$	Akruálny polomer príruby	[mm]
$\rho_{\text{ocel'}}$	Hustota materiálu	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\sigma$	Obecné označenie napätia	[MPa]
$\sigma_1$	Radiálne ťahové napätie	[MPa]
$\sigma_2$	Napätie od pridržiavača	[MPa]
$\sigma_3$	Tangenciálne tlakové napätie	[MPa]
$\sigma_d$	Deformačné napätie materiálu	[MPa]
$\sigma_f$	Zložka napätia od trenia pridržiavača	[MPa]
$\sigma_o$	Odpor voči ťažnej hrane	[MPa]
$\sigma_p$	Prirodzený pretvárný odpor	[MPa]
$\sigma_{ps}$	Stredná hodnota prirodzeného pretvárneho odporu	[MPa]
$\sigma_z$	Napätie v ose z	[MPa]
$\sigma_{z\max}$	Maximálne napätie v ose z	[MPa]

## **ZOZNAM OBRÁZKOV**

Obr. 1 Příklady súčiastok vyrobených hlbokým ťahaním [6], [7], [8], [9].	9
Obr. 2 Vnútoraná strana víčka.	10
Obr. 3 Umiestnenie víčka v zostave regálu.	10
Obr. 4 Víčko – 2D pohľad.	11
Obr. 5 Odlievanie [16].	12
Obr. 6 Technológia sústruženia [17].	12
Obr. 7 Technológia kovotlačenia [15].	12
Obr. 8 Marform [18].	13
Obr. 9 Hydroform [18].	13
Obr. 10 Technológia ťahania [15].	13
Obr. 11 Príklad postupového tvárniaceho nástroja [19].	14
Obr. 12 Princíp ťahania [18].	15
Obr. 13 Ťahanie valcového výťazku [18].	15
Obr. 14 Schéma napätosti a smery hlavných napätí a deformácií [22].	16
Obr. 15 Schéma prvej operácie ťahania s prírubou [3].	17
Obr. 16 Pribeh logaritmických pretvorení [3].	17
Obr. 17 Vplyv trenia na napätosť [4].	19
Obr. 18 Vplyv ohybu na deformačný odpor [4].	19
Obr. 19 Rozdelenie výťazku na jednoduchšie plochy [5].	20
Obr. 20 Grafický spôsob určenia rozmeru Guldinovým pravidlom [25].	21
Obr. 21 Postup ťahania viacerými ťahmi [4].	22
Obr. 22 Medzné hodnoty súčiniteľa ťahania [4].	22
Obr. 23 Ťažná medzera [1].	24
Obr. 24 Vlny v príрубе [1].	24
Obr. 25 Pribeh a zložky sily [1].	26
Obr. 26 Poloha pri maximálnej ťažnej sile [28].	26
Obr. 27 Sila na odtrhnutie dna [2].	26
Obr. 28 Príklad ťažného nástroja [1].	28
Obr. 29 Ťažidlá pre prvý ťah [3].	29
Obr. 30 Ťažidlo pre ďalšie ťahy [3].	30
Obr. 31 Konštrukcia ťažníkov pre rôzne výťazky [3].	31
Obr. 32 Druhy spojenia ťažníku a držiaku [30].	31
Obr. 33 Druhy ťažníc [30].	32
Obr. 34 Druhy ťažných hrán [3].	32
Obr. 35 Graf na určenie polomeru zaoblenia [3].	33
Obr. 36 Konštrukcia pridržačova [30].	34
Obr. 37 Schéma kľukového lisu a pribeh jeho sily [1].	35
Obr. 38 Schéma hydraulického lisu a pribeh jeho sily [1].	35
Obr. 39 Striebeckov diagram [4].	36
Obr. 40 Príklady tvarov výťazku [26].	37
Obr. 41 Zmena v návrhu víčka.	38
Obr. 42 3D model nového návrhu víčka.	38



Obr. 43 Prvý postup výroby.....	39
Obr. 44 Druhý postup výroby. ....	39
Obr. 45 Rozdelenie víčka na jednoduchšie plôšky.....	40
Obr. 46 Rozmery pred a po vytvorení kalíška. ....	43
Obr. 47 Varianty rozloženia prístrihu.....	44
Obr. 48 Rozstrihanie plechu.....	45
Obr. 49 Rozloženie prístrihu.....	45
Obr. 50 Rozloženie prístrihu.....	46
Obr. 51 Zvitok plechu [37]. ....	46
Obr. 52 Ťažná medzera.....	49
Obr. 53 Obecná charakteristika pružiny [38].....	50
Obr. 54 Poloha jednotlivých síl a ich výslednice.....	51
Obr. 55 Ťažný nástroj.....	52
Obr. 56 Modul 1 – Operácia 1. ....	53
Obr. 57 Modul 2 – Operácia 2. ....	54
Obr. 58 Modul 3 – Operácia 3. ....	55
Obr. 59 Výstredníkový lis S 160 E [39].....	56
Obr. 60 Bod zvratu.....	60

## **ZOZNAM TABULIEK**

Tab. 1 Chemické zloženie ocele [10]. ....	11
Tab. 2 Mechanické vlastnosti ocele [10]. ....	11
Tab. 3 Hodnoty súčiniteľa ťahania [26]. ....	23
Tab. 4 Závislosť veľkosti ťažnej vôle k hrúbke plechu [5].....	24
Tab. 5 Merný tlak pridržiavača [4].....	25
Tab. 6 Súčiniteľ ‘c’ pre prvý ťah [27]. ....	27
Tab. 7 Súčiniteľ ‘c’ pre ďalšie ťahy [27].....	27
Tab. 8 Materiály používané na nástroje [30]. ....	30
Tab. 9 Minimálne hodnoty polomeru zaoblenia ťažníku [2].....	31
Tab. 10 Porovnanie výsledkov využitia plechu. ....	47
Tab. 11 Technické parametre lisu S 160 E [39].....	56
Tab. 12 Vlastnosti maziva SOLESTER 91 [41]. ....	56

## **ZOZNAM PRÍLOH**

Príloha č. 1 Materiálový list použitej ocele.

Príloha č. 2 Príklady výpočtov obsahov základných plôch.

Príloha č. 3 Normogram na určenie minimálneho vyrobiteľného priemeru na jeden ťah.

Príloha č.4 Tabuľky na určenie rozmerov pásu a kroku pri strihaní.

Príloha č.5 Stanovenie geometrie pružiny v prvom ťahu a tlak na začiatku ťahu.

Príloha č.6 Stanovenie geometrie pružiny v druhom ťahu a tlak na začiatku ťahu.

Príloha č.7 Stanovenie geometrie pružiny v treťom ťahu a jej maximálnu silu.

Príloha č.8 3D model stlačeného nástroja.

## **ZOZNAM VÝKRESOV**

Výkres pôvodného návrhu víčka: 2018-DP-161089-0S

Výkres nového návrhu víčka: 2018-DP-161089-0SN

Výkres zostavy: 2018-DP-161089-0Z

Kusovník: 2018-DP-161089-0K

Výkres ťažnice 2: 2018-DP-161089-12

Výkres ťažníku 2: 2018-DP-161089-10

ČSN 41 1305

STN 41 1305

Ocel obvyklých jakostí k tažení

a tváření za studena

OCEL

11 305

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	P	S	Si	Al	N
max 0,07	max 0,40	max 0,025	max 0,025	max 0,03	min 0,025	2)

Polotovary

[1] tenké plechy válcované za studena

Mechanické vlastnosti

Polotovary	[1]
Rozměr t, d [mm]	0,5-2,0
Stav	21)
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa] max	215
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	290-360
Tažnost A <sub>80</sub> [%] napříč min	36

Fyzikální vlastnosti

Hustota	Měrná tepelná kapacita	Tepelní součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost	Konduktivita
ρ [kg . m <sup>-3</sup> ]	c <sub>p</sub> [J . kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	α [K <sup>-1</sup> ]	λ <sub>t</sub> [W . m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	λ <sub>s</sub> [MS . m <sup>-1</sup> ]
7 850	–	–	–	–

Technologické údaje

SVAŘITELNOST

podle ČSN 05 1310 zaručená

OBROBITELNOST

třída obrobitelnosti

soustružení a hoblování

15b

frézování a vrtání

14b

TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY

zkouška hloubením podle Erichsena podle ČSN 42 0406

tloušťka a [mm]	0,50	0,60	0,80	1,00	1,30	1,50	1,80	2,00
prohloubení h [mm]	9,3	9,6	10,2	10,7	11,2	11,6	12,1	12,3

Použití

Ocel na velmi hluboké tažení, odolná proti stárnutí. Plechy jsou zvláště vhodné na tváření za studena, lakování a pokovování. Vzhledem k tomu, že se jedná o ocel uklidněnou, má zvýšenou odolnost proti stárnutí po válcování za studena.

### Ostatní vlastnosti

Druhy oceli podle způsobu výroby	Barevné značení podle ČSN 42 0010	Třída odpadu podle ČSN 42 0030
kyslíková konvertorová - uklidněná	hnědá—modrá	005

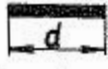
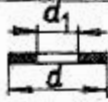
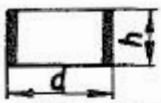
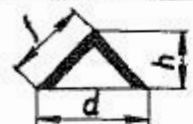
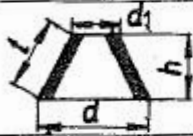

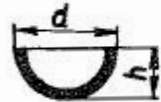
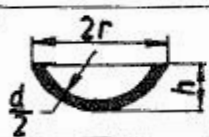

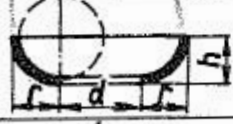


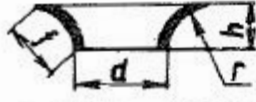
### Porovnání se zahraničními materiály

ISO		EURO		Německo	
Cr 04	ISO17/12N49-69	FePO4 DC04	EN 10130-91 EN 10130-91	St14 FePO4	DIN 1623/1 DINEN 10130E-89
Francie		Velká Británie		Rusko	
ES	NF A36-401-74	1HR, HS, CR, CS 2HR, HS, CR, CS	BS 1449/1-91 BS 1449/1-91	08Ju 08JuA	GOST 9045-80 GOST 4041-71
USA		Japonsko		Kanada	
A 619 A 620 A 621 A 622	ASTM A 619 ASTM A 620 ASTM A 621 ASTM A 622	SPCE	JIS G 3141-87	—	—
Itálie		Rakousko		Švédsko	
—	—	—	—	1147	SS 141147-75
Polsko		Maďarsko		Norsko	
08J 08JA	PN H 84023/02-89 PN H 84023/02-89	—	—	—	—
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
CR 4	SF 600	—	—	AP04 DC04	UNE 36-086/1-79 UNE 36-086/1-91
Austrálie		Jugoslávie		Rumunsko	
Hd 3 Hd 4 Cx 3 Cx 4	AS1594-89 AS1594-89 AS1595-81 AS1595-81	Č. 0147SU Č. 0148SU	JUS C.B4.016-78 JUS C.B4.016-78	A 3k	STAS 9485-80

### Poznámky

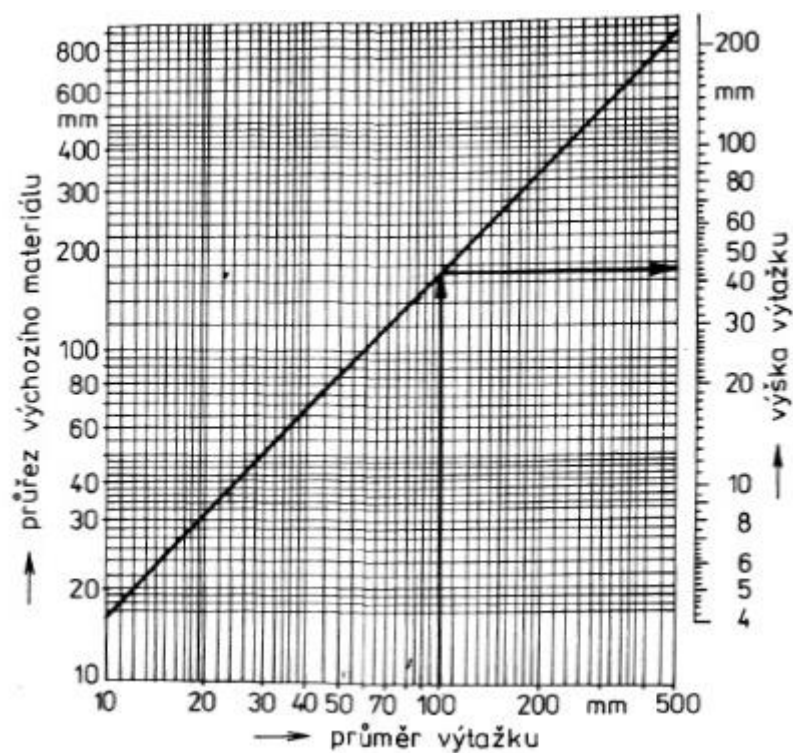
<sup>1)</sup> Rekrytalizačně žháný, lehce převálcovaný za studena

<sup>2)</sup> Musí být vázaný

rotační tvar	plocha
	$A = \frac{\pi}{4}d^2$ kotouč
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)$ prstenec
	$A = \pi \cdot d \cdot h$ válec
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot \sqrt{d^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot f$ rotační kužel
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot (d + d_1) \sqrt{(d - d_1)^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{2} \cdot f \cdot (d + d_1)$ kornolý kužel
	$A = \pi \cdot d^2$ koule
	$A = \frac{\pi}{2} \cdot d^2$ polokoule
	$A = \pi \cdot d \cdot h = \pi \cdot (r^2 + h^2)$ kulová úseč
	$A = \pi \sqrt{4r^2 \cdot h^2 + (r^2 - r_1^2 - h^2)^2} = \pi \cdot d \cdot h$ kulová vrstva
	$A = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d \cdot r + 4r^2)$ konkávní prstenec (čtvrtina)
	$A = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d \cdot r - 4r^2)$ konvexní prstenec (čtvrtina)
	$A = \pi \cdot [(d - 2r) \cdot f + 2r \cdot h]$ konkávní prstenec
	$A = \pi \cdot [(d + 2r) \cdot f - 2r \cdot h]$ konvexní prstenec

Príloha č. 3 Normogram na určenie minimálneho výrobitel'ného priemeru na jeden ťah [5].


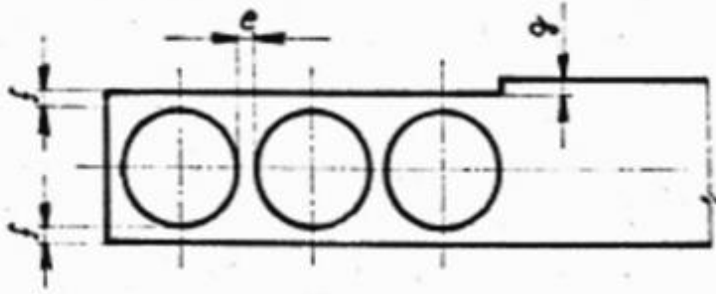
1/1





Príloha č.4 Tabuľky na určenie rozmerov pásu a kroku pri strihaní [45].

1/1

 <b>NÁŘ</b> KOW-KL	<b>SMĚRNICE PRO STANOVENÍ ŠÍŘKY ODPADU</b>	<b>415 - 06 - 205</b>										
Výpis z ON 22 6032		Počet stran 3										
												
11. mat.	Šířka pásu											
	do 15		15+50		50+100		100+200		200+300		300+400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1÷0,9	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5				
1	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3,8	2,5	5,2	3	6,6
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	3,1	3,8	4	5,3	5	6,7
1,5	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	3,2	4	4,3	5,4	5,4	6,8
1,8	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	3,3	4,2	4,4	5,6	5,5	7
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,5	4,5	5,8	5,7	7,2
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,6	4,5	4,6	6	5,8	7,3
2,5	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	3,7	4,7	4,7	6	5,8	7,4
2,8	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	3,8	4,7	5	6,2	6	7,5
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	4	5	5	6,3	6,2	7,7
3,5			2,7	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,5	6,3	8
4			3	3,8	3,5	4,3	4,5	5,6	5,6	6,8	6,5	8,2
4,5			3,2	4	3,7	4,6	4,7	5,8	5,7	7,2	6,6	8,7
5			3,5	4,2	4	5	5	6,2	6	7,7	7	9,2

Tloušťka mat.	do 1	1,1÷1,3	1,4÷1,5	1,6÷1,8	1,9÷2
g	1,5	1,8	2	2,2	2,5

Rozměry uvedené v tabulkách platí pro kovy.  
 Pro hmoty měkké (chrom. kůže, textil, azbest) použít  
 dvojnásobné hodnoty e; f. Rozměr g zvětšit 1,5 krát.

Kreslil <i>Bouček</i>	Prozkoušel <i>ky Bouček</i>	Schválil <i>Štefánek</i>	Platí od 1.4.1981
--------------------------	--------------------------------	-----------------------------	----------------------

Príloha č.5 Stanovenie geometrie pružiny v prvom ťahu a tlak na začiatku ťahu. 1/1

Vstupné údaje: veľkosť pridržiavacej sily –  $F_{p1} = 9\,802\text{ N}$ ,  
 veľkosť plochy pod pridržiavačom –  $S_{pr1} = 3\,268\text{ mm}^2$ ,  
 pôsobiaci tlak –  $p_1 = 3\text{ MPa}$ ,  
 výška stlačenej pružiny –  $I_1 = 63\text{ mm}$ ,  
 počet pružín = 8 ks,  
 modul pružnosti v smyku –  $G = 80\,000\text{ MPa}$ .

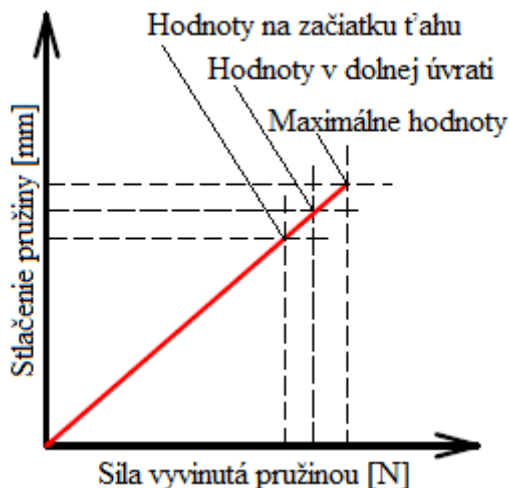
Z celkovej sily a počtu pružín sa určí sila, ktorú musí vyvíjať jedna pružina v dolnej úvrati:

$$F_{p11} = \frac{F_{p1}}{8} = \frac{9\,802}{8} = 1\,226\text{ N}.$$

Z výpočtu vyšlo, že jedna pružina musí pôsobiť silou približne 1 226 N. Na základe tohto výpočtu bola stanovená nasledujúca konštrukcia (geometria) pružiny:

priemer drôtu pružiny -  $d = 4\text{ mm}$ ,  
 priemer pružiny –  $D_{pr} = 30,5\text{ mm}$ ,  
 voľná výška pružiny –  $I_0 = 200\text{ mm}$ ,  
 počet závitov –  $n = 10$ .

Pre pružinu, ktorá má zadané parametre platí nasledujúca charakteristika:



Výpočet sily na začiatku ťahu:

$$F_{p1z1} = \frac{G \cdot s_p \cdot d^4}{8 \cdot D_{pr}^3 \cdot n} = \frac{80\,000 \cdot 120 \cdot 4^4}{8 \cdot 30,5^3 \cdot 10} = 1\,083\text{ N},$$

kde:  $s_p$  – stlačenie pružiny:

$$s_p = I_0 - \text{výška pružiny} = 200 - 80 = 120\text{ mm}.$$

Výpočet celkovej sily:

$$F_{p1z} = 8 \cdot F_{p1z1} = 8 \cdot 1\,083 = 8\,664\text{ N}.$$

Plocha na začiatku ťahu:

$$S_{prz1} = \left( \frac{\pi \cdot (D_{pp}^2 - (d_1 + 2 \cdot r_{tc1})^2)}{4} \right)_1 = \left( \frac{\pi \cdot (132^2 - (68 + 2 \cdot 13)^2)}{4} \right) = 6\,745\text{ mm}^2.$$

Tlak pôsobiaci na začiatku ťahu:

$$p_{1z} = \frac{F_{p1z}}{S_{prz1}} = \frac{8\,664}{6\,745} = 1,3\text{ MPa}.$$

Pôsobiaci tlak je síce menší ako najmenší dovolený, ale rozdiel medzi nimi je pomerne malý a na začiatku procesu neprebiehajú veľké pretvorenia, preto je predpoklad, že by to malo stačiť. Na potvrdenie funkčnosti je nutné spraviť overovaciu sériu.

Príloha č.6 Stanovenie geometrie pružiny v druhom ťahu a tlak na začiatku ťahu. 1/1

Vstupné údaje: veľkosť pridržiavacej sily –  $F_{p2} = 3\,924\text{ N}$ ,  
 veľkosť plochy pod pridržiavačom –  $S_{pr2} = 1\,308\text{ mm}^2$ ,  
 pôsobiaci tlak –  $p_2 = 3\text{ MPa}$ ,  
 výška stlačenej pružiny –  $I_1 = 47\text{ mm}$ ,  
 počet pružín = 4 ks,  
 modul pružnosti v smyku –  $G = 80\,000\text{ MPa}$ .

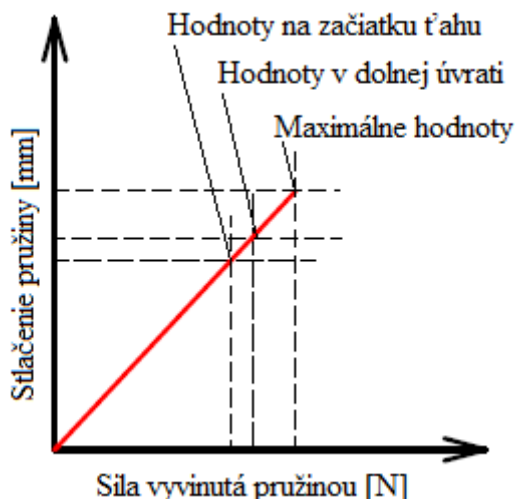
Z celkovej sily a počtu pružín sa určí sila, ktorú musí vyvíjať jedna pružina v dolnej úvrati:

$$F_{p21} = \frac{F_{p2}}{4} = \frac{3\,924}{4} = 981\text{ N}.$$

Z výpočtu vyšlo, že jedna pružina musí pôsobiť silou približne 981 N. Na základe tohto výpočtu bola stanovená nasledujúca konštrukcia (geometria) pružiny:

priemer drôtu pružiny -  $d = 3\text{ mm}$ ,  
 priemer pružiny –  $D_{pr} = 24\text{ mm}$ ,  
 voľná výška pružiny –  $I_0 = 180\text{ mm}$ ,  
 počet závitov –  $n = 8$ .

Pre pružinu, ktorá má zadané parametre platí nasledujúca charakteristika:



Výpočet sily na začiatku ťahu:

$$F_{p2z1} = \frac{G \cdot s_p \cdot d^4}{8 \cdot D_{pr}^3 \cdot n} = \frac{80\,000 \cdot 110 \cdot 3^4}{8 \cdot 24^3 \cdot 8} = 806\text{ N},$$

kde:  $s_p$  – stlačenie pružiny:

$$s_p = I_0 - \text{výška pružiny} = 180 - 70 = 110\text{ mm}.$$

Výpočet celkovej sily:

$$F_{p2z} = 4 \cdot F_{p2z1} = 4 \cdot 806 = 3\,224\text{ N}.$$

Plocha na začiatku ťahu:

$$S_{pr2} = \left( \frac{\pi \cdot (d_1^2 - d_{p2}^2)}{4} \right) = \left( \frac{\pi \cdot (63^2 - 48^2)}{4} \right) = 1\,308\text{ mm}^2.$$

Tlak pôsobiaci na začiatku ťahu:

$$p_{2z} = \frac{F_{p2z}}{S_{pr2}} = \frac{3\,224}{1\,308} = 2,5\text{ MPa}.$$

Pôsobiaci tlak je v dovolenom rozmedzí, čo znamená, že počas ťahu by nemal nastať žiadny problém, ale aj tak je nutné spraviť overovaciu sériu.

Príloha č.7 Stanovenie geometrie pružiny v treťom ťahu a jej maximálnu silu 1/1

Vstupné údaje: veľkosť pridržiavacej sily –  $F_{p3z} = 7\,771\text{ N}$ ,  
 veľkosť plochy pod pridržiavačom –  $S_{pr1} = 5\,181\text{ mm}^2$ ,  
 pôsobiaci tlak –  $p_{3z} = 1,5\text{ MPa}$ ,  
 výška stlačenej pružiny –  $I_{1z} = 53\text{ mm}$ ,  
 počet pružín = 4 ks,  
 modul pružnosti v smyku –  $G = 80\,000\text{ MPa}$ .

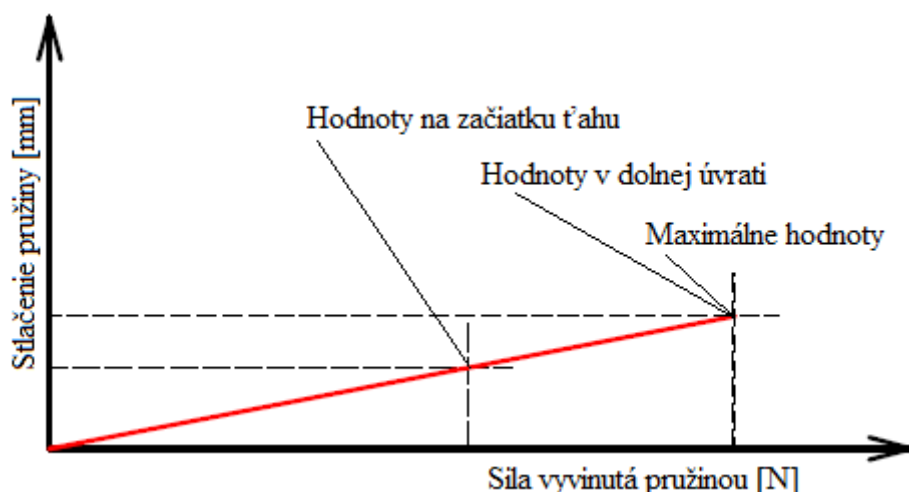
Z celkovej sily a počtu pružín sa určí sila, ktorú musí vyvíjať jedna pružina na začiatku ťahu:

$$F_{p3z1} = \frac{F_{p3z}}{4} = \frac{7\,771}{4} = 1\,943\text{ N}.$$

Z výpočtu vyšlo, že jedna pružina musí pôsobiť silou približne 1 943 N. Na základe tohto výpočtu bola stanovená nasledujúca konštrukcia (geometria) pružiny:

priemer drôtu pružiny -  $d = 3,3\text{ mm}$ ,  
 priemer pružiny –  $D_{pr} = 18\text{ mm}$ ,  
 voľná výška pružiny –  $I_0 = 100\text{ mm}$ ,  
 počet závitov –  $n = 5$ .

Pre pružinu, ktorá má zadané parametre platí nasledujúca charakteristika:



Výpočet sily v dolnej úvrati:

$$F_{p31} = \frac{G \cdot s_p \cdot d^4}{8 \cdot D_{pr}^3 \cdot n} = \frac{80\,000 \cdot 76,4 \cdot 3,3^4}{8 \cdot 18^3 \cdot 5} = 3\,108\text{ N},$$

kde:  $s_p$  – stlačenie pružiny:

$$s_p = I_0 - \text{výška pružiny} = 100 - 23,6 = 76,4\text{ mm}.$$

Výpočet celkovej sily:

$$F_{p3} = 4 \cdot F_{p3z} = 4 \cdot 3\,108 = 12\,432\text{ N}.$$

Maximálna sila pri treťom ťahu je 12 432 N.

Príloha č.8 3D model stlačeného nástroja.

1/1

